

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ**  
**«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ**  
**імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Теплоенергетичний факультет  
Кафедра теоретичної і промислової теплотехніки

«На правах рукопису»  
УДК 621.43.056:632.15

«До захисту допущено»  
Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_  
(підпис)      Геннадій ВАРЛАМОВ  
(ініціали, прізвище)

“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 20 20 р.

## Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

зі спеціальності 144 «Теплоенергетика»

на тему: Підвищення енерго-екологічної ефективності котла ПТВМ-180 за рахунок модернізації палинкової системи.

Виконала: студентка II курсу, групи ТП-81мн

\_\_\_\_\_  
У Цзунянь  
(прізвище, ім'я, по батькові)      \_\_\_\_\_  
(підпис)

Науковий керівник зав. каф., д.т.н., проф. Геннадій ВАРЛАМОВ \_\_\_\_\_  
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)      (підпис)

Консультант з мат. моделювання      к.т.н., доц. Андрій СОЛОМАХА \_\_\_\_\_  
(назва розділу)      (науковий ступінь, вчене звання, ім'я, прізвище)      (підпис)

Рецензент \_\_\_\_\_  
(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)      \_\_\_\_\_  
(підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації немає  
запозичень з праць інших авторів без відповідних  
посилань.

Студент \_\_\_\_\_  
(підпис)

Київ – 2020 року

**Національний технічний університет України**  
**«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**

Факультет Теплоенергетичний

Кафедра Теоретичної і промислової теплотехніки

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-науковою програмою

Спеціальність 144 «Теплоенергетика»,

ОНП «Промислова та муніципальна теплоенергетика і енергозбереження»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Геннадій ВАРЛАМОВ  
(підпис) (ініціали, прізвище)

«13» березня 2020 р.

**ЗАВДАННЯ**  
**на магістерську дисертацію студенту**  
**У ЦЗУНЯНЬ**

\_\_\_\_\_  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації Підвищення енерго-екологічної ефективності котла ПТВМ-180  
за рахунок модернізації пальникової системи

науковий керівник дисертації ВАРЛАМОВ Геннадій Борисович, д.т.н., проф.  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «16» березня 2020 р. № 863-с

2. Термін подання студентом дисертації 15.05.2020 р.

3. Об'єкт дослідження Аеродинамічні, теплові та екологічні процеси спалювання природного  
газу в топці енергетичного котла ПТВМ-180.

4. Предмет дослідження Теплові, аеродинамічні та екологічні показники роботи котла зі  
штатною та на мікрофакельній паливних системах.

5. Перелік завдань, які потрібно розробити 5.1. Розрахувати та визначити енергетичні та  
екологічні показники роботи котла ПТВМ-180 зі штатною пальниковою системою; 5.2. Розрахувати  
аеродинамічний опір штатного пальника РГМГ-9 та мікрофакельного пальника МГМП-9; 5.3.  
Розробити моделі та провести дослідження аеродинамічних процесів штатного та мікрофакельного  
пальників; 5.4. Визначити основні переваги мікрофакельного пальника МГМП-9; 5.5. Основні  
конструктивні особливості пальника та умови монтажу у амбразуру котла; 5.6. Аналіз результатів  
натурних випробувань, визначення економічного ефекту; 5.7. Розробити стартап- проект.

6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу Загальний вигляд топкової камери

котла ПТВМ-180. Пальник штатний типу РГМГ-9. Модель штатного пальника РГМГ-9. Розподіл швидкостей повітря у повздовжньому розрізі у штатному пальнику РГМГ-9. Модель пальника МГМП-9. Загальний вигляд пальника МГМП-9. Розподіл швидкостей повітря у повздовжньому розрізі в пальнику МГМП-9. Загальний вигляд мікрофакельного газо-мазутного пальника МГМП-9. Схема встановлення пальника МГМП-9 у амбразуру котла на місце штатного пальника РГМГ-9. Схема розміщення пальників котла ПТВМ-180. Загальний вид пальника МГМП-9 у амбразурі котла ПТВМ-180 з боку топки .

7. Орієнтовний перелік публікацій 7.1.Тези доповідей на міжнародних науково-практичних конференціях. 7.2. Наукова робота на конкурс «Молодь - енергетиці України» 7.3. Стаття у науковому журналі.

#### 8. Консультанти розділів дисертації\*

Розділ	Ім'я, прізвище та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	Завдання прийняв
мат. моделювання	Андрій Соломаха, доцент		

9. Дата видачі завдання 12.03.2020

#### Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Загальні дані, методика розрахунку енергетичних показників котла ПТВМ-180	13.03.2020 р.	
2	Розрахунок та моделювання аеродинамічних характеристик штатного пальника РГМГ-9	20.03.2020 р.	
3	Дослідження загальних та конструктивних властивостей штатного та мікрофакельного пальників МГМП-9	04.04.2020 р.	
4	Аналіз результатів випробувань газо-мазутного пальника МГМП-9 у котлі	20.04.2020 р.	
5	Визначення основних властивостей та енерго-екологічних показників роботи газо-мазутного пальника МГМП-9 у котлі	26.04.2020 р.	
6	Розробити старт-тап проект	29.04.2020 р.	
7	Оформлення і подання дисертації	15.05.2020 р.	

Студент

\_\_\_\_\_  
(підпис)

У ЦЗУНЯНЬ  
(ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Геннадій ВАРЛАМОВ  
(ініціали, прізвище)

\* Консультантом не може бути зазначено наукового керівника магістерської дисертації.

## РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація на здобуття ступеня магістра за освітньо-професійною програмою підготовки на тему: «Підвищення енерго-екологічної ефективності котла ПТВМ-180 за рахунок модернізації палинкової системи» 109 с., 37 рис., 49 табл., 4 дод., 13 джерел.

Об'єктом дослідження виступають аеродинамічні, теплові та екологічні процеси спалювання природного газу в топці енергетичного котла ПТВМ-180.

Метою роботи є підвищення енерго-екологічної ефективності експлуатації котла за рахунок модернізації палинкової системи встановленням сучасних мікрофакельних палиників.

На основі визначення за допомогою математичної моделі і натурних випробувань недоліків штатної палинкової системи енергетичного котла ПТВМ-180 запропоновано здійснення її модернізації заміною реєстрових штатних палиників типу РГМГ-9 на сучасні високоефективні мікрофакельні газо-мазутні палиники типу МГМП-9.

У програмному середовищі «SolidWorks» здійснено моделювання аеродинамічних процесів у топці котла з розрахунком аеродинамічних характеристик палиників РГМГ-9 і МГМП-9 та доведені переваги останнього.

Після здійснення модернізації котла під час натурних випробувань мікрофакельних палиників зафіксовано більш якісне сумішоутворення газо-повітряної суміші, ефективне спалювання та теплообмін у топці котла і, як наслідок, підвищення значень ККД котла і значний економічний і екологічний ефект.

Розроблено стартап-проект із незначним терміном окупності, високим індексом рентабельності інвестицій в проект та досягненням рівня беззбитковості у перший же рік введення проекту в дію.

Передбачені заходи з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** енергетичний котел, газо-мазутні палиники, моделювання, аеродинамічні характеристики, економічний та екологічний ефект.

## **ABSTRACT**

Master's dissertation for a master's degree in the educational-professional training program on the topic: "Improving the energy and environmental efficiency of the boiler PTVM-180 through the modernization of the burner system": 109 pp., 37 figures, 49 tables, 4 appendix, 13 sources .

The object of the study are aerodynamic, thermal and environmental processes of natural gas combustion in the furnace of the power boiler PTVM-180.

The purpose of the work is to increase the energy and environmental efficiency of the boiler operation by modernizing the burner system by installing modern micro flare burners.

Based on the determination using a mathematical model and field tests of the shortcomings of the standard burner system of the power boiler PTVM-180, it is proposed to modernize it by replacing the registered standard burners type RGMG-9 with modern high-efficiency micro flare gas-oil burners type MGMP-9.

In the software environment "SolidWorks" modeling of aerodynamic processes in the furnace of the boiler with the calculation of the aerodynamic characteristics of the burners RGMG-9 and MGMP-9 and proved the advantages of the latter.

After the modernization of the boiler during field tests of flare burners, better gas-air mixture formation, efficient combustion and heat exchange in the boiler furnace and, as a result, increase of boiler efficiency and significant economic and environmental effect were recorded.

A startup project with a short payback period, a high index of return on investment in the project and the achievement of break-even level in the first year of project implementation was developed.

Measures for labor protection and safety in emergency situations are provided.

**KEY WORDS:** energy boiler, gas-oil burners, modeling, aerodynamic characteristics, economic and ecological effect.

## РЕФЕРАТ

Магистерская диссертация на соискание степени магистра по образовательно-профессиональной программе подготовки на тему: «Повышение энерго-экологической эффективности котла ПТВМ-180 за счет модернизации горелочной системы»: 109 с., 37 рис., 49 табл., 4 доп., 13 источников .

Объектом исследования выступают аэродинамические, тепловые и экологические процессы сжигания природного газа в топке энергетического котла ПТВМ-180.

Целью работы является повышение энерго-экологической эффективности эксплуатации котла за счет модернизации горелочной системы установлением современных микрофакельных горелок.

На основе определения с помощью математической модели и натурных испытаний недостатки в штатной горелочной системы энергетического котла ПТВМ-180 предложено осуществление ее модернизации заменой регистровых штатных горелок типа РГМГ-9 на современные высокоэффективные микрофакельные газо-мазутные горелки типа МГМП-9.

В программной среде «SolidWorks» осуществлено моделирование аэродинамических процессов в топке котла с расчетом аэродинамических характеристик горелок РГМГ-9 и МГМП-9 и доказанные преимущества последнего.

После осуществления модернизации котла во время натурных испытаний микрофакельных горелок зафиксировано более качественное смесеобразование газозоудшной смеси, эффективное сжигание и теплообмен в топке котла и, как следствие, повышение уровня КПД котла и значительный экономический и экологический эффект.

Разработан стартап-проект с незначительным сроком окупаемости, высоким индексом рентабельности инвестиций в проект и достижением уровня безубыточности в первый же год введения проекта в действие.

Предусмотрены мероприятия по охране труда и безопасности в чрезвычайных ситуациях.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** энергетический котел, газо-мазутные горелки, моделирование, аэродинамические характеристики, экономический и экологический эффект.

## ЗМІСТ

Перелік умовних позначень, символів, скорочень, термінів.....	8
Вступ.....	9
1 Загальні дані про котел ПТВМ-180.....	10
1.1 Опис котла ПТВМ-180.....	10
1.2 Конструкція котла.....	12
1.3 Методика розрахунку та визначення енергетичних показників котла ПТВМ-180.....	14
1.4 Методика обробки результатів екологічних вимірювань.....	20
1.5 Висновки з розділу 1.....	25
2 Особливості штатної пальникової системи котла.....	26
2.1 Загальні дані про штатну пальникову систему котла.....	26
2.2 Розрахунок аеродинамічного опору штатного пальника.....	28
2.3 Моделювання аеродинамічних процесів у штатному пальнику та загальні результати .....	33
2.4 Висновки з розділу 2.....	37
3 Загальні та конструктивні властивості пальника МГМП-9.....	38
3.1. Загальні відомості про переваги мікрофакельного спалювання палива.....	38
3.2 Розрахунок аеродинамічного опору пальника МГМП-9.....	39
3.3 Моделювання та аналіз аеродинамічних процесів у пальнику МГМП-9.....	41
3.4 Порівняння основні характеристик пальників типу РГМГ-9 та МГМП-9.....	45
3.5 Висновки з розділу 3.....	56
4 Випробування газо-мазутного пальника МГМП-9 у котлі.....	57
4.1 Програма випробувань.....	57
4.2 Алгоритм та порядок проведення випробувань.....	61
4.3 Основні результати випробувань.....	62
4.4 Висновки з розділу 4.....	66
5 НАЛАШТУВАННЯ властивостей газо-мазутного пальника у котлі.....	67
5.1 Визначення регульованих можливостей пальникового пристрою.....	67
5.2 Додаткові випробування.....	68
5.3 Аналіз результатів проведених дослідів характеристик котла зі МГМП-пальниками.....	73
5.4 Розрахунок економічного ефекту.....	82
5.5 Висновки з розділу 5 .....	83
6 Розробка старт-тап проекту.....	85
Висновки.....	99
Список використаної літератури.....	100
Додатки	

---

Додаток А	
Технічне завдання на науково-дослідну роботу.....	103
Додаток Б	
Акт впровадження результатів магістерської дисертації.....	104
Додаток В	
Список наукових праць і творчих досягнень.....	105
Додаток Г	
Перевірка магістерської дисертації на антиплагіат.....	107



## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, СКОРОЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ.

$Q$  – теплопродуктивність ;

$V$  - питомий об'єм;

$T$  - температура

$\rho$  - густина;

$P$  - тиск;

$d$  - витрата мережної води

$f$  - площа поперечного перерізу;

$W$  - швидкість повітря;

$\Delta P$  - аеродинамічний опір патрубку первинного повітря;

$\xi$  - коефіцієнт місцевого опору;

$V$  - витрата палива на котел

$Re$  - число Рейнольдса;

$\eta$  - ККД котла

$B$  - барометричний тиск

Індекси:

г – газ;

к –котел;

пов – повітря;

заг – загальний;

патр – патрубок

екв – еквівалентний;

м – місцевий;

м.в.- мережна вода

відх. - відхідні гази

Скорочення:

ТЕЦ – теплоелектроцентрально;

ТЕС – теплоелектростанція;

ПТВМ-піковий теплофікаційний водогрійний модернізований котел;

МГМП-мікрофакельний газо-мазутний пальник;

РГМГ-регістральний газо-мазутний горелка

## ВСТУП

Енергетика всієї країни – це величезне господарство, яке об'єднує у єдиний комплекс підприємства з видобутку та транспорту енергетичних ресурсів, з перетворення одних видів енергії в інші, установки транспортування енергії, ремонтні підприємства, наукові та проектні інститути та багато іншого. Усі разом вони утворюють велику енергетичну систему, яка включає п'ять систем енергетики: електроенергетичну, ядерно-енергетичну, нафтопостачальну, газопостачальну, вуглепостачальну.

На даний момент енергетична галузь України знаходиться у стані вирішення комплексу проблем, пов'язаних із наявністю значної кількості фізично та морально застарілого обладнання, введення нових енергетичних потужностей в Україні ведеться повільними темпами, оскільки великих коштів, потрібних для цього, енергетичні компанії не мають, а державні дотації невеликі.

В цих умовах важливою є задача підтримання у роботоспроможному та безпечному для експлуатації стані енергетичного устаткування, у тому числі і таких важливих агрегатів у складі ТЕС та ТЕЦ як котли. Актуальним питанням стає визначення та покращення екологічних показників експлуатації котлів [1,2] за рахунок застосування новітніх енерго- та ресурсозберігаючих технологій, устаткування та пристроїв власного українського виробництва.

В Україні розроблено значну кількість новітніх енергозберігаючих технологій, які здатні здійснити прорив у підвищенні ККД котельних установок за рахунок проведення короткотермінових та мало затратних модернізацій їх важливих складових елементів. Наприклад-----науковців КПІ Ім. Ігоря Сікорського стосовно впровадження нової універсальної мікрофакельної технології газоспалювання у енергетичні котли паливоспалювальні пристрої-пальники дозволяють успішно вирішити вказане вище питання з отриманням комплексного позитивного ефекту.

Робота присвячена дослідженню та розробці мікро-факельних газо-мазутних пальників типу МГМП, для визначення можливості заміни штатних пальників на нові у складі пальникової системи котлоагрегату ПТВМ-180 ст. №2 ТЕЦ-5.

Отримані результати свідчать, що розроблена мікрофакельна технологія повною мірою задовольняє сучасним світовим вимогам по ефективності і екологічній безпеці і може бути реалізована в паливних системах широкого призначення.

## 1 ЗАГАЛЬНІ ДАНІ ПРО КОТЕЛ ПТВМ-180

### 1.1 Опис котла ПТВМ-180

Теплофікаційний водогрійний газомазутний котел ПТВМ-180 теплопродуктивністю 180 Гкал/год, аксонометричний вигляд топкової камери та вигляд топки спереду (а) та справа (б) якого представлено на рисунку 1.2, має баштовий тип, водотрубний, радіаційний, прямоточний, із примусовою циркуляцією, обладнаний 20-ма штатними газо-мазутними пальниками вихрового типу з індивідуальними дуттьовими вентиляторами типу Ц-13-50 №5. Підігрів повітря здійснюється в калориферах перед дуттьовими вентиляторами.

Котел повністю автоматизований. Зміна теплопродуктивності котла здійснюється кількістю працюючих пальників при постійній витраті води і змінному температурному перепаді. Необхідні межі регулювання продуктивності складають 30%...100% від номінальної потужності. Зміна навантаження котла проводиться за рахунок зміни температури води, витрата якої підтримується постійною.

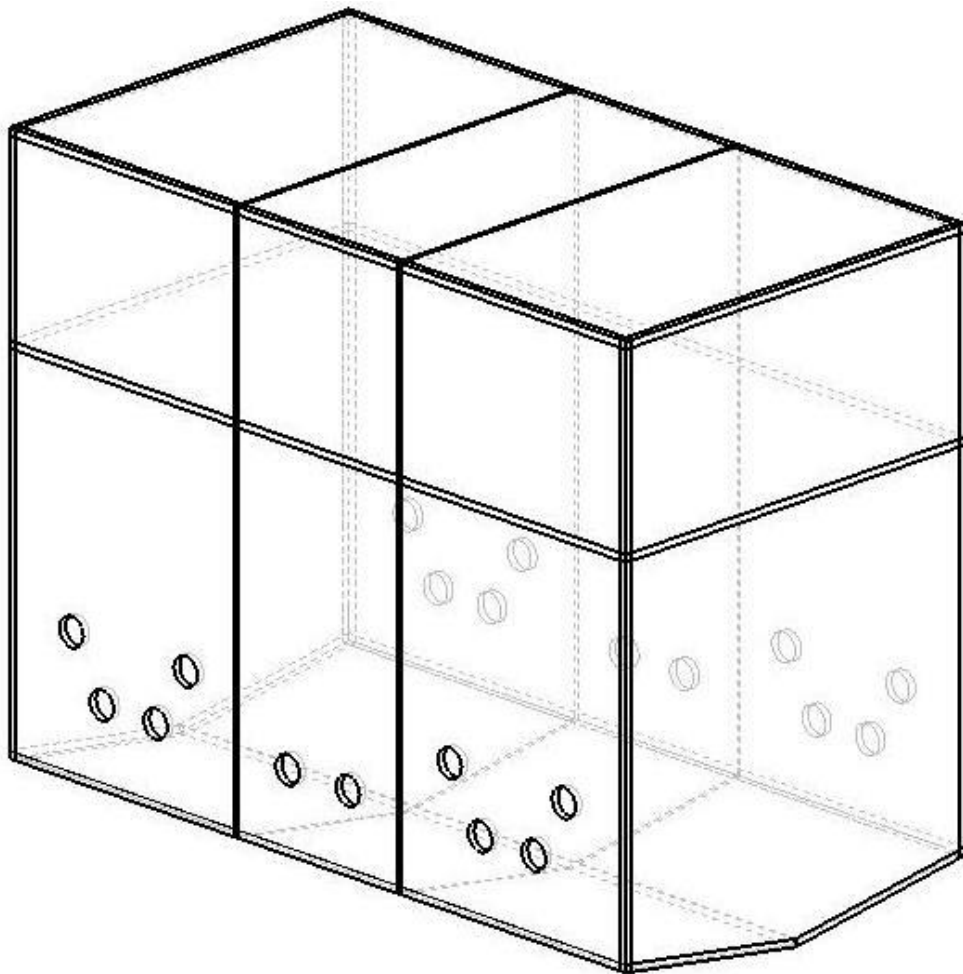


Рисунок 1.1 - Аксонометричний вигляд топкової камери котла ПТВМ-180

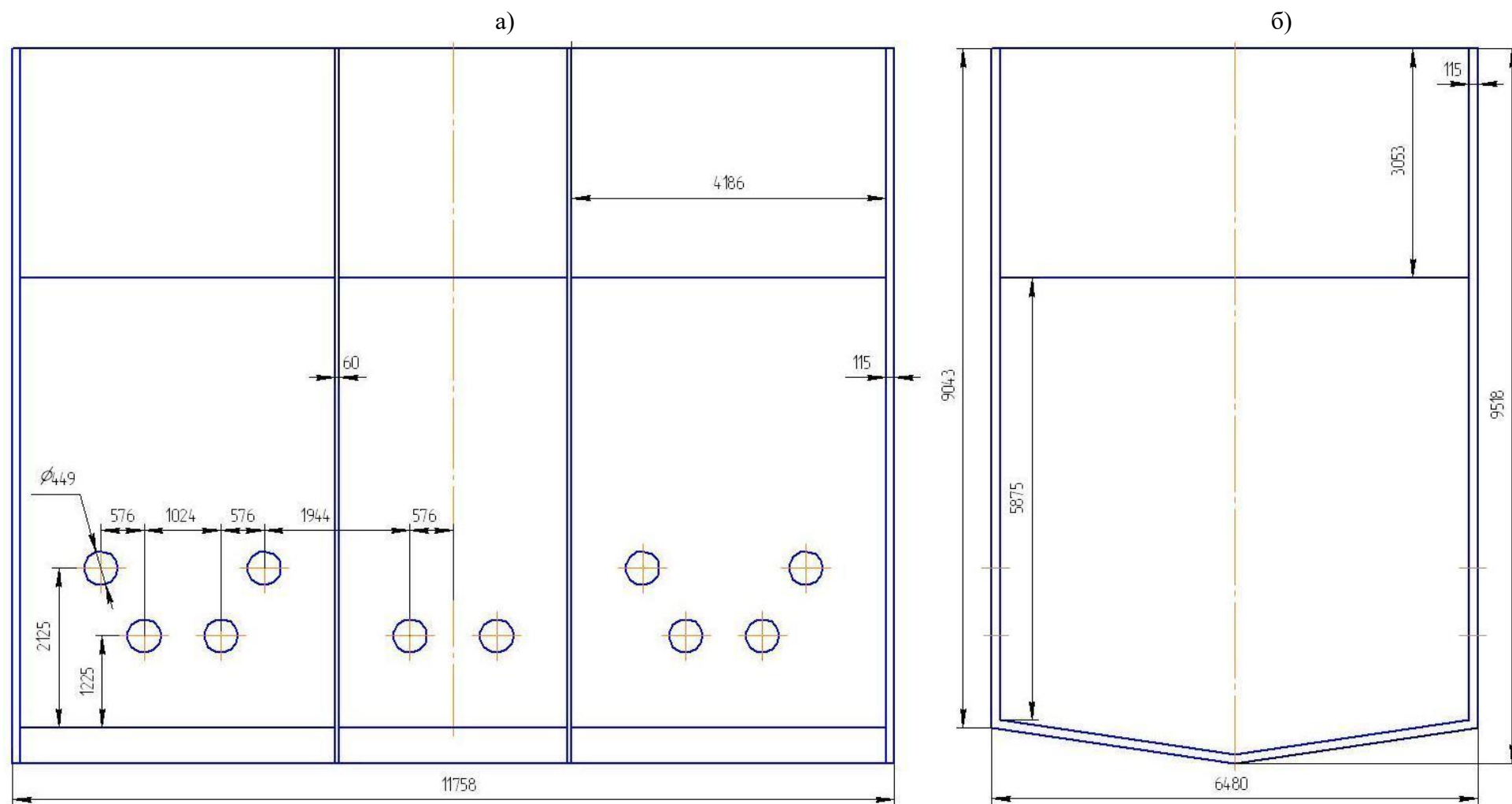


Рисунок 1.2 - Топкова камера котла ПТВМ-180. Вигляд спереду (а) та справа (б)

## 1.2 Конструкція котла

### 1.2.1 Топкова камера.

Топкова камера призначена для спалювання високосірчистого мазуту і природного газу. Стіни топкової камери повністю екрановані трубами діаметром 60х3 мм з кроком 64 мм. Труби екранів сполучені між собою двома горизонтальними поясами жорсткості. Об'єм топкової камери рівний 461 м<sup>3</sup>. Ефективна поверхня топкової камери котла 179 м<sup>2</sup>. Топкова камера розділена на три частини двома двосвітними екранами.

### 1.2.2 Конвективна частина.

Конвективна частина складається з 176 секцій. V - подібні змійовики з труб діаметром 28х3 мм, зварені своїми кінцями в стояки діаметром 89х3,5 мм утворює секцію. Змійовики розташовані в шаховому порядку з кроком рівним 64 мм і 33 мм.

Труби змійовиків кожної секції зварюються в 4-х місцях вертикальними дистанційними планками, утворюючи жорстку форму. По ходу газів конвективна частина розділена на два пакети, зазор між якими складає 600 мм. Поверхня нагріву конвективної частини котла 5500 м<sup>2</sup>.

### 1.2.3 Обмурівка.

Обмурівка котла полегшена, натрубного типу з мінераловатних плит з кріпленням їх до натрубною обшивки. Обмурівка виконана з мінеральної вати у вигляді матраців в металевій магнезійній обмазці, яка забезпечує гідроізоляцію поверхні котла від атмосферних опадів. Загальна товщина обмурівки 115 мм. Вага 1 м<sup>2</sup> обмурівки - 100 кг.

### 1.2.4 Каркас.

Каркас котла складається з 4-х плоских рам загальною висотою 13,2 м, з розмірами в плані 6900х12196 мм по осях колон. Кутові колони є загальними для двох рам, що примикають один до одного в кутках. На верхній відмітці розташовані вантажні ригелі рам і несучі балки стелі, до яких за спеціальну тягу підвішується увесь котел. Для надання загальній просторовій жорсткості всій конструкції використовуються помости, що оперезають каркас на трьох відмітках.

### 1.2.5 Схема циркуляції.

Вода від бойлера з температурою 104°C або крім бойлерів від зворотної магістралі тепломережі, подається мережевими насосами в камеру діаметром 720х12 мм. сталь 20, встановлену на відмітці 2,5 м.

З неї по 8 трубам діаметром 273х3 ст. 20 в нижні камери 2 бічних екранів та у верхні колектори на 8,86 м, які сполучені між собою.

Верхні і нижні колектори розділені перегородками, з них вода поступає в конвективну частину з трубами  $\varnothing 28 \times 3$  (нижній та верхній пакети) матеріал сталь 20, а з конвективних пакетів поступає в два колектори  $\varnothing 273 \times 10$  матеріал сталь 20. З цих колекторів по 176 трубам фронтових екранів  $\varnothing 60 \times 3$  матеріал сталь 20 вода поступає в два нижні колектори  $\varnothing 273 \times 10$  матеріал сталь 20 фронтових екранів. З них по 12 трубам  $\varnothing 159 \times 4,5$  сталь 20 з кожного вода поступає в збірний колектор  $\varnothing 720 \times 12$  сталь 20, розташований на відмітці 215 м. Бічні екрани виконані з труб  $\varnothing 60 \times 3$  в кількості 98 шт., двосвітні екрани з труб  $\varnothing 83 \times 3,5$  в кількості 9 штук сталь 20.

#### 1.2.6 Очищення конвективних поверхонь нагріву від забруднення.

На трубах конвективної частини при спалюванні сірчастого мазуту утворюються дрібні золіві відкладення, які важко вловити. Для їх видалення передбачено обмивання мережною водою, яка здійснюється шляхом подачі води через сопла, закріплені на трубах, розташовані в газовому коробі над конвективною частиною.

Чистота обмивання залежить від ступеня забруднення, що визначається підвищенням температури газів, що відходять, і опором конвективної частини.

#### 1.2.7 Повітропідігрівник котла.

Для підігріву повітря до додатних температур при від'ємних температурах зовнішнього повітря (у зимовий час) на котлах ПТВМ-180 ст. №1-3 змонтовані повітропідігрівники (калорифери). Попередній підігрів повітря необхідний для виключення обмерзання робочих коліс дуттьових вентиляторів і обмеження їх напору до продуктивності.

Повітропідігрівники встановлені на всмоктуванні дуттьових вентиляторів поза приміщенням котельної.

Калорифери виконані з конвективних поверхонь нагріву котлів ПТВМ-180. Секції складаються з V-подібних змійовиків з труб діаметром  $28 \times 3,5$  мм. Вваренні своїми кінцями в колектор діаметром  $89 \times 3,5$  мм. У якості середовища, що гріє, використовується мережна вода, що подається з магістралі тепломережі №3 до ПТВМ №3. Скидання мережної води здійснюється в трубопровід мережної води після ПТВМ №3.

Включення в роботу калориферів повинне проводитися при зниженні температури зовнішнього повітря до  $0^{\circ}\text{C}$  і на всьому діапазоні від'ємних температур перед розпалюванням котла (до включення дуттьових вентиляторів).

При знаходженні котла в резерві в зимовий час, через калорифери повинен бути забезпечений протік мережної води з таким розрахунком, щоб виключити попадання холодного повітря в топку котла і перемерзання окремих змійовиків калориферів.

### 1.3 Методика розрахунку та визначення енергетичних показників котла ПТВМ-180

Для проведення вимірювань було застосовано наступні контрольно-вимірювальні прилади котла,

що показують:

- розрідження в топці котла;
- тиск мережної води до котла і після котла;
- температура мережної води після котла;
- тиск газу за регулятором;
- тиск мазуту в напірних магістралях;
- тиск мазуту на котел;
- витрата мережної води через котел;

що реєструють:

- тиск газу в загальному колекторі;
- витрата газу на котел;
- температура мережної води до і після котла;
- температура відхідних газів;
- витрата мазуту на котел та на рециркуляцію;
- витрата мережної води;
- вміст кисню в відхідних газах.

Крім цього на котлі встановлені манометри для виміру тиску газу на пальники і на місцевому щиті прилади типу ММН - для виміру тиску повітря на пальники.

Температура відхідних газів вимірюється в балансовому перетині за конвективною поверхнею нагріву експлуатаційним штатним приладом.

За результатами, отриманими під час випробувань, згідно «Методичним вказівкам з розрахунку звітних техніко - економічних показників електростанції про теплову економічність устаткування» м. Київ 1996 рік ( ГКД 34.09.103-96 ) зроблені розрахунки основних техніко-економічних показників котла [3].

Дійсна витрата мережної води визначалася за виразом, кг/с

$$D_{MB}^o = D_{MB} \cdot \sqrt{\frac{V_{gp}}{V_{mv}}}, \quad (1.1)$$

де  $D_{MB}$  - витрата мережної води за приладом;

$V_{gp}$  - питомий об'єм при градуїровочних параметрах;

$V_{mv}$  - питомий об'єм мережної води.

Теплопродуктивність котла, МВт, визначається за формулою:

$$Q_{\text{ка}} = D_{\text{MB}}^0 \cdot c_{p\text{в}} \cdot (T'_{\text{MB}} - T''_{\text{MB}}) \cdot 10^{-6}, \quad (1.2)$$

де - теплоємність води, беремо  $c_{p\text{в}} = 4187 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$

$T'_{\text{MB}}$  - температура мережної води на вході в котел, °С;

$T''_{\text{MB}}$  - температура мережної води на виході з котла, °С.

Визначення температури відхідних газів з урахуванням розрахункових значень витрати мережної води через котел і температури води на вході в котел.

Поправка до  $T_{\text{вг}}$  на зміну витрати води визначається за формулою, °С:

$$\Delta T_{\text{м.в.}} = K_{\text{Дм.в.}} \cdot (D_{\text{MB}}^0 - D_{\text{MB}}^{\text{ном}}), \quad (1.3)$$

де  $K_{\text{Дм.в.}} = 0,0088$  - коефіцієнт до  $T_{\text{вг}}$  на зміну витрати води;

$D_{\text{MB}}^0$  - дійсна витрата мережної води, кг/с;

$D_{\text{MB}}^{\text{ном}}$  - номінальна витрата мережної води, кг/с.

Поправка до  $T_{\text{вг}}$  на зміну температури мережної води, °С, визначається за формулою

$$\Delta T''_{\text{м.в.}} = K_{\text{Тм.в.}} \cdot (T_{\text{MB}}^{\text{ном}} - T_{\text{MB}}^{\text{факт}}), \quad (1.4)$$

де  $K_{\text{Тм.в.}} = 0,9$  - коефіцієнт до  $T_{\text{вг}}$  на зміну температури мережної води;

$T_{\text{MB}}^{\text{ном}}$  - номінальна температура мережної води до котла, °С;

$T_{\text{MB}}^{\text{факт}}$  - фактична температура мережної води до котла, °С.

Сумарна поправка до температури відхідних газів:

$$\sum \Delta T = \Delta T_{\text{м.в.}} + \Delta T''_{\text{м.в.}}. \quad (1.5)$$

Приведена температура відхідних газів, °С:

$$T_{\text{вг}}^{\text{пр}} = T_{\text{вг}}^{\text{факт}} + \sum \Delta T, \quad (1.6)$$

де  $T_{\text{вг}}^{\text{факт}}$  - температура відхідних газів під час випробувань, °С.

Розрахунок величини втрати теплоти з відхідними газами, %, здійснюються за формулою

$$q_2 = (K \cdot \alpha_{\text{вгдх}} + C) \cdot (t_{\text{вгдх}} - \frac{\alpha_{\text{вгдх}}}{\alpha_{\text{вгдх}} + b} \cdot t_{\text{х пов}}) \cdot (0,9805 + 0,00013 \cdot t_{\text{вгдх}}) \cdot (1 - 0,01 \cdot q_4) \cdot K_Q \cdot 10^{-2}; \quad (1.7)$$

де:  $K, C, b$  – постійні коефіцієнти, приймаються відповідно:  $K=3,53$ ;  $C=0,6$   $b=0,18$ ;

$t_{\text{вгдх}}, t_{\text{х пов}}$  - температура відхідних газів і температура холодного повітря;

$\alpha_{\text{вгдх}}$  - коефіцієнт надлишку повітря в відхідних газах, визначається за формулою

$$\alpha_{\text{вгдх}} = \frac{21 - \rho O_2}{21 - O_2}, \quad (1.8)$$

де  $\rho = 0,1$  ;

$q_4$  - втрати тепла від механічної неповноти згоряння, %;



$K_Q = 1$  - поправочний коефіцієнт, що враховує додатково внесені в топку котла тепло з парою і водою, з підігрітим повітрям і паливом;

Розрахунок величини втрати теплоти з хімічним недопалом, %, визначається за формулою

$$q_3 = 1,1 \cdot (\alpha_{\text{відх}} - 0,1) \cdot 30,2 \cdot 0,005 \cdot \frac{CO''}{62,5} \cdot K_Q \cdot 0,1, \quad (1.9)$$

де  $CO''$  - CO в відхідних газах, мг/м<sup>3</sup>.

ККД котла «брутто», %, визначається за формулою

$$\eta = 100 - \sum q, \quad (1.10)$$

де  $\sum q$  - сума втрат тепла, %

$$\sum q = q_2 + q_3 + q_5, \quad (1.11)$$

Де  $q_5 = 0,05\%$  - величина втрати теплоти через огорожувальні конструкції.

Питома витрата умовного палива на вироблення теплоти, кг уп/ГДж, визначається за формулою

$$b = \frac{10^6}{293300 \cdot \eta}, \quad (1.12)$$

де: 293300 - нижча теплота згоряння умовного палива, кДж/кг;

$\eta$  - ККД котла (брутто).

Витрата палива, кг/с, по зворотному балансу визначається за формулою:

$$B_z = \frac{Q_k}{Q_n^* \cdot \eta}, \quad (1.13)$$

де:  $Q_k$  - теплове навантаження котла, кВт;

$Q_n^*$  - нижча теплота згоряння палива, кДж/кг;

$\eta$  - ККД котла (брутто).

Результати замірів величин роботи котла на штатних пальниках надано в таблицях 1.1 та 1.2.

Таблиця 1.1 - Вхідні величини котла на штатних пальниках, що змірялися приладами

Найменування величин	Позначення	Одиниця	Значення
Температура мережної води до котла	$T'_{\text{м.в.}}$	$^{\circ}\text{C}$	55,5
Температура мережної води після котла	$T''_{\text{м.в.}}$	$^{\circ}\text{C}$	91,5
Температура відхідних газів	$T_{\text{відх}}$	$^{\circ}\text{C}$	157
Температура холодного повітря	$T_{\text{х.пов}}$	$^{\circ}\text{C}$	5
Витрата мережної води	$D_{\text{м.в.}}$	кг/с	1069
Вміст кисню в відхідних газах	$r(O_2)$	%	2
Вміст CO в відхідних газах	$m(CO)$	мг/м <sup>3</sup>	49
Вміст NOx в відхідних газах	$m(NO_x)$	мг/м <sup>3</sup>	249
Витрата газу на котел (по приладу)	$V_z$	м <sup>3</sup> /год	19200
Барометричний тиск	$B$	мм.рт.ст.	744

Таблиця 1.2 - Зведена відомість середніх заміряних та розрахункових енергетичних величин при випробуванні водогрійного котлоагрегату ПТВМ-180 ст.№2 ТЕЦ-5 при роботі штатних пальників на природному газі

Найменування величин	Позначення	Одиниця	Значення
<b>I ПАЛИВО - ГАЗ</b>			
Витрата газу на котел (по приладу)	$V_{\text{г}}$	$\text{м}^3/\text{год}$	19200
Кількість працюючих пальників	$n$	шт	13
Тиск газу за РК (на котел)	$P_{\text{г}}$ за $P_{\text{к}}$	$\text{кг} / \text{см}^2$	0,16
Нижча теплота згоряння газу	$Q_{\text{н}}$	кДж/кг	34542
Густина газу	$\rho_{\text{г}}$	$\text{кг} / \text{м}^3$	0,621
Тиск газу на пальники 1 / 2	$P_{\text{г} 1/2}$	$\text{кг} / \text{см}^2$	0 / 0
Тиск газу на пальники 3 / 4	$P_{\text{г} 3/4}$	$\text{кг} / \text{см}^2$	0,08 / 0,1
Тиск газу на пальники 5 / 6	$P_{\text{г} 5/6}$	$\text{кг} / \text{см}^2$	0,09 / 0,1
Тиск газу на пальники 7 / 8	$P_{\text{г} 7/8}$	$\text{кг} / \text{см}^2$	0 / 0,08
Тиск газу на пальники 9 / 10	$P_{\text{г} 9/10}$	$\text{кг} / \text{см}^2$	0,09 / 0
Тиск газу на пальники 11 / 12	$P_{\text{г} 11/12}$	$\text{кг} / \text{см}^2$	0,08 / 0,1
Тиск газу на пальники 13 / 14	$P_{\text{г} 13/14}$	$\text{кг} / \text{см}^2$	0 / 0,08
Тиск газу на пальники 15 / 16	$P_{\text{г} 15/16}$	$\text{кг} / \text{см}^2$	0,08 / 0,09
Тиск газу на пальники 17 / 18	$P_{\text{г} 17/18}$	$\text{кг} / \text{см}^2$	0,08 / 0,08
Тиск газу на пальники 19 / 20	$P_{\text{г} 19/20}$	$\text{кг} / \text{см}^2$	0 / 0
<b>II МЕРЕЖНА ВОДА</b>			
Витрата мережної води через котел	$D_{\text{м.в.}}$	кг/с	1069
Температура м.в. на вході в котел	$T'_{\text{м.в.}}$	°C	55,5
Температура м.в. на виході з котла	$T''_{\text{м.в.}}$	°C	91,5
Тиск мережної води на вході в котел	$P'_{\text{м.в.}}$	$\text{кг} / \text{см}^2$	23,6
Тиск мережної води на виході з котла	$P''_{\text{м.в.}}$	$\text{кг} / \text{см}^2$	22,0

Розрахунок реальних (дійсних) значень енергетичних величин роботи котла на штатних пальниках наведено у таблицях 1.3-1.10

Таблиця 1.3 - Визначення дійсної витрати мережної води через котел на штатних пальниках

Найменування величини	Позначення	Одиниця	Значення
Витрата мережної води через котел	$D_{м.в.}$	кг/с	1069
Тиск мережної води (абсолютний)	$P''_{м.в.}$	кг / см <sup>2</sup>	23,0
Температура мережної води	$T''_{м.в.}$	°С	91,5
Питомий об'єм мережної води	$V_{мв}$	м <sup>3</sup> / кг	0,001036
Градуїровочний тиск	$P_{гр}$	кг / см <sup>2</sup>	20,0
Градуїровочна температура	$T_{гр}$	°С	150,0
Питомий об'єм при град.параметрах	$V_{гр}$	м <sup>3</sup> / кг	0,0010896
Дійсна витрата мережної води	$D_{мвд}$	кг/с	1096

Таблиця 1.4 - Визначення теплопродуктивності котла на штатних пальниках

Найменування величини	Позначення	Одиниця	Значення
Дійсна витрата мережної води	$D_{мвд}$	кг/с	1096
Температура мережної води до котла	$T'_{м.в.}$	°С	55,5
Температура мережної води після котла	$T''_{м.в.}$	°С	91,5
Теплонавантаження котла	$Q_{ка бр}$	МВт	165,2

Таблиця 1.5 - Визначення температури відхідних газів з урахуванням розрахункових значень витрати мережної води через котел і температури води на вході в котел на штатних пальниках

Найменування величини	Позначення	Одиниця	Значення
Дійсна витрата мережної води	$D_{мв д}$	кг/с	1096
Номінальна витрата мережної води	$D_{мв ном}$	кг/с	1072
Коефіцієнт до Твг на зміну витрати води	$\kappa D_{м.в.}$		0,0088
Поправка до Твг на зміну витрати води	$\Delta T'_{м.в.}$	°С	0,2132
Номінальна температура м. в. до котла	$T'_н м.в.$	°С	70,0
Фактична температура м. в. до котла	$T_{ф м.в.}$	°С	55,5
Коеф. до Твг на зміну Тмережної води	$\kappa T_{м.в.}$		0,90
Поправка до Твг на зміну температури мер.води	$\Delta T''_{м.в.}$	°С	13,05
Сумарна поправка до температури відхідних газ.	$E \Delta T_{м.в.}$	°С	13,3
Т відхідних газів під час випробувань	$T_{вг ф}$	°С	157,0
Приведенна температура відхідних газів	$T_{вг пр}$	°С	170,3

Таблиця 1.6 - Визначення втрати тепла з відхідними газами котла на штатних пальниках

Найменування величини	Позначення	Одиниця	Значення
Температура відхідних газів	$T_{вг\ \phi}$	°C	157
Температура холодного повітря	$T_{хп}$	°C	5
Стала С	$C$	-	0,60
Стала k	$k$	-	3,53
Стала b	$b$	-	0,180
RO2 в відхідних газах	$RO2''$	%	10,779
O2 в відхідних газах	$O2''$	%	2,000
Характеристика палива RO2 max	$RO2_{max}$	%	11,800
Надлишок повітря в відхідних газах	$a_{вг}$	-	1,095
Коефіцієнт Kq	$Kq$		1,0
Втрата тепла з відхідними газами	$q_{2\phi}$	%	6,824

Таблиця 1.7 - Визначення втрати тепла з відхідними газами з урахуванням приведених до нормальної витрати мережної води через котел на штатних пальниках і температури води на вході в котел

Найменування величини	Позначення	Одиниця	Значення
Температура відхідних газів прив.	$T_{вг\ пр.}$	°C	170,3
Температура холодного повітря	$T_{хп}$	°C	5,0
Стала С	$C$	-	0,60
Стала k	$k$	-	3,53
Стала b	$b$	-	0,18
RO2 в відхідних газах	$RO2''$	%	10,78
O2 в відхідних газах	$O2''$	%	2,00
Характеристика палива RO2 max	$RO2_{max}$	%	11,80
Надлишок повітря в відхідних газах	$a_{вг}$	-	1,095
Коефіцієнт Kq	$Kq$		1,0
Втрата тепла з відхідними газами прив.	$q_{2np}$	%	7,429

Таблиця 1.8 – Визначення ККД котла "брутто" по зворотному балансу на штатних пальниках

Найменування величини	Позначення	Одиниця	Значення
Теплонавантаження котла	$Q_{ка\ бр}$	МВт	165,2
Втрата тепла з відхідними газами	$q_{2ф}$	%	6,824
Втрата тепла з відхідними газами прив.	$q_{2пр}$	%	7,429
Втрата тепла від хімнедопалу	$q_3$	%	0,013
Втрата тепла в навколишнє середовище	$q_5$	%	0,05
ККД котла "брутто" факт.	$\eta_{ка\ ф}$	%	93,113
ККД котла "брутто" прив.	$\eta_{ка\ пр}$	%	92,508

Таблиця 1.9 – Визначення питомої витрати умовного палива на виробництво 1 ГДж тепла котла на штатних пальниках

Найменування величини	Позначення	Одиниця	Значення
Теплонавантаження котла	$Q_{ка\ бр}$	МВт	165,2
ККД котла "брутто" факт.	$\eta_{ка\ ф}$	%	93,113
ККД котла "брутто" прив.	$\eta_{ка\ пр}$	%	92,508
Питома.витрата ум.палива на вироб.1 ГДж факт.	$b_{ум\ ф}$	кг уп/ГДж	36,6
Питома.витрата ум.палива на вироб.1 ГДж прив.	$b_{ум\ пр}$	кг уп/ГДж	36,9

Таблиця 1.10 - Визначення витрати палива на котел по зворотному балансу на штатних пальниках

Найменування величини	Позначення	Одиниця	Значення
Теплонавантаження котла	$Q_{ка\ бр}$	МВт	165,2
Калорійність газу	$Q_H$	кДж/кг	34542
ККД котла "брутто" факт.	$\eta_{ка\ ф}$	%	93,113
Витрата палива по зворот. балансу факт.	$B_z$	кг/с	5,137

#### 1.4 Методика обробки результатів екологічних вимірювань

У комплексі з тепловими випробуваннями котла ПТВМ-180 ст. № 3 були визначені концентрації шкідливих речовин у відхідних газах.

Виміри і розрахунки концентрації шкідливих речовин проводилися відповідно до рекомендацій «Методического пособия по проведению комплексных испытаний котлов,

роботаючих на газе и мазуте», розробленого Інститутом газу Академії наук України.

Виміри проводилися за допомогою газоаналізатора горіння UniGas-4000 на тих же навантаженнях, що й основні дослід. При цьому на кожному навантаженні змінювався надлишок повітря для визначення оптимальної концентрації шкідливих речовин у відхідних газах.

Масова концентрація в відхідних газах окислів вуглецю, оксидів азоту приведена до нормальних умов ( 0 °C, 760 мм. рт. ст.), при коефіцієнті надлишку повітря рівному одиниці, визначалася за формулою,  $мг/м^3$  :

$$C_{\alpha=1} = \frac{2,784 \cdot C \cdot h \cdot (273 + t)}{P}, \quad (1.14)$$

де: C - масова концентрація шкідливих речовин,  $мг/м^3$ ;

h - коефіцієнт розбавлення;

P - атмосферний тиск, при якому вироблявся аналіз відхідних газів, мм рт. ст.

t - температура навколишнього повітря, при якій виконувався аналіз відхідних газів, °C.

Питомі викиди шкідливих речовин визначалися за формулами,  $мг/кВт \text{ год}$ :

$$b = \frac{3,6 \cdot C_{\alpha=1} \cdot (100 - q_4)}{L \cdot \eta}, \quad (1.15)$$

$$b = \frac{C_{\alpha=1} \cdot (100 - q_4)}{L \cdot \eta}, \quad (1.16)$$

де:  $\eta$  – ККД котла, %;

$q_4$  - втрати тепла з механічним недопалом;

$L = 4,187 \text{ МДж/} м^3$  - нижча теплота згоряння палива, віднесена до обсягу сухих продуктів згоряння при  $\alpha = 1$ .

Визначення секундного викиду котлом шкідливих речовин.  $г/с$  :

$$M_c = \frac{b \cdot Q_k}{1000}, \quad (1.17)$$

де: b - питомий викид шкідливої речовини на 1 ГДж тепла;

$Q_{ка}$  - теплопродуктивність котла, МВт.

Аналіз на зміст  $CO_2$ ,  $O_2$ ,  $CO$ ,  $NO_x$  у продуктах згоряння відбирався у балансовому перетині за допомогою повітряного ежектора. Аналіз виконувався переносним газоаналізатором UniGas-4000 та ОКСИ-5М.

Штатний газозабірний пристрій здійснює забір проб димових газів на киснемір також у балансовому перетині.

Заміряні та розраховані за наведеною методикою екологічні показники наведено у таблицях 1.11 та 1.12

Таблиця 1.11 - Вхідні величини, що заміряні приладами котла на штатних пальниках

Найменування величин	Позначення	Одиниця	Значення
Температура мережної води до котла	$T'_{м.в.}$	°C	55,5
Температура мережної води після котла	$T''_{м.в.}$	°C	91,5
Температура відхідних газів	$T_{відх}$	°C	157
Температура холодного повітря	$T_{х пов}$	°C	5
Витрата мережної води	$D_{м.в.}$	кг/с	1069
Вміст кисню в відхідних газах	$r(O_2)$	%	2
Вміст CO в відхідних газах	$m(CO)$	$мг/м^3$	49
Вміст $NO_x$ в відхідних газах	$m(NO_x)$	$мг/м^3$	249
Витрата газу на котел (по приладу)	$V_2$	$м^3/год$	19200
Барометричний тиск	$B$	мм.рт.ст.	744

Таблиця 1.12 - Зведена відомість середніх заміряних та розрахункових екологічних величин при випробуванні ПТВМ-180 ст.№2 ТЕЦ-5 при роботі на природному газі

на штатних пальниках

Найменування величини	Позначення	Одиниця	Значення
<b>I ПАЛИВО - ГАЗ</b>			
Витрата газу на котел (по приладу)	$V_2$	$м^3/год$	19200
Кількість працюючих пальників	$n$	шт	13
Тиск газу за РК (на котел)	$P_2 \text{ за РК}$	$кг / см^2$	0,16
Нижча теплота згоряння газу	$Q_n$	кДж/кг	34542
Густина газу	$\rho_2$	$кг / м^3$	0,621
Тиск газу на пальники 1 / 2	$P_2 \text{ 1 / 2}$	$кг / см^2$	0 / 0
Тиск газу на пальники 3 / 4	$P_2 \text{ 3 / 4}$	$кг / см^2$	0,08 / 0,1
Тиск газу на пальники 5 / 6	$P_2 \text{ 5 / 6}$	$кг / см^2$	0,09 / 0,1
Тиск газу на пальники 7 / 8	$P_2 \text{ 7 / 8}$	$кг / см^2$	0 / 0,08
Тиск газу на пальники 9 / 10	$P_2 \text{ 9 / 10}$	$кг / см^2$	0,09 / 0
Тиск газу на пальники 11 / 12	$P_2 \text{ 11 / 12}$	$кг / см^2$	0,08 / 0,1
Тиск газу на пальники 13 / 14	$P_2 \text{ 13 / 14}$	$кг / см^2$	0 / 0,08
Тиск газу на пальники 15 / 16	$P_2 \text{ 15 / 16}$	$кг / см^2$	0,08 / 0,09
Тиск газу на пальники 17 / 18	$P_2 \text{ 17 / 18}$	$кг / см^2$	0,08 / 0,08

Продовження таблиці 1.12

1	2	3	4
Тиск газу на пальники 19 / 20	$P_{z19/20}$	$\text{кг} / \text{см}^2$	0 / 0
II МЕРЕЖНА ВОДА			
Витрата мережної води через котел	$D_{м.в.}$	кг/с	1069
Температура м.в. на вході в котел	$T'_{м.в.}$	°C	55,5
Температура м.в. на виході з котла	$T''_{м.в.}$	°C	91,5
Тиск мережної води на вході в котел	$P'_{м.в.}$	$\text{кг} / \text{см}^2$	23,6
Тиск мережної води на виході з котла	$P''_{м.в.}$	$\text{кг} / \text{см}^2$	22,0
III ПОВІТРЯ І ДИМОВІ ГАЗИ			
Тиск повітря на пальники 1/2	$P_n 1/2$	$\text{кг} / \text{см}^2$	0 / 0
Тиск повітря на пальники 3/4	$P_n 3/4$	$\text{кг} / \text{см}^2$	60 / 70
Тиск повітря на пальники 5/6	$P_n 5/6$	$\text{кг} / \text{см}^2$	50 / 70
Тиск повітря на пальники 7/8	$P_n 7/8$	$\text{кг} / \text{см}^2$	0 / 60
Тиск повітря на пальники 9/10	$P_n 9/10$	$\text{кг} / \text{см}^2$	50 / 0
Тиск повітря на пальники 11/12	$P_n 11/12$	$\text{кг} / \text{см}^2$	50 / 50
Тиск повітря на пальники 13/14	$P_n 13/14$	$\text{кг} / \text{см}^2$	0 / 50
Тиск повітря на пальники 15/16	$P_n 15/16$	$\text{кг} / \text{см}^2$	50 / 70
Тиск повітря на пальники 17/18	$P_n 17/18$	$\text{кг} / \text{см}^2$	50 / 85
Тиск повітря на пальники 19/20	$P_n 19/20$	$\text{кг} / \text{см}^2$	0 / 0
Барометричний тиск	$P$	мм.рт.ст.	744
Температура зовнішнього повітря	$T_{zn}$	°C	3
Температура холодного повітря	$T_{xn}$	°C	5
Розрідження зверху топки котла	$S_m$	$\text{кг} / \text{м}^2$	5,0
Температура відхідних газів	$T_{вг}$	°C	157
IV ГАЗОВИЙ АНАЛІЗ			
RO2 в відхідних газах	$RO2''$	%	10,8
O2 в відхідних газах	$O2''$	%	2,0
CO в відхідних газах	$CO''$	$\text{мг} / \text{м}^3$	49,0
Надлишок повітря в відхідних газах	$a_{вг}$	-	1,095
NOx в відхідних газах	$NOx$	$\text{мг} / \text{м}^3$	249



Таблиця 1.13 - Визначення питомих викидів забруднюючих речовин ПТВМ-180  
ст.№2 ТЕЦ-5 при роботі на природному газі на штатних пальниках

Найменування величини	Позначення	Одиниця	Значення
Коефіцієнт розбавлення	$h$	-	1,105
Барометричний тиск	$P$	мм.рт.ст.	744
Температура холодного повітря	$t_{хп}$	оС	5,0
Теплонавантаження котла	$Q_k$	МВт	165,2
ККД котла %	$\eta_{бр}$	%	93,113
Низча теплота спалювання, віднесена до об'єму сухих продуктів спалювання при $a=1$	$L$	$\text{МДж}/\text{м}^3$	4,187
Масова концентрація NOx	$NO_x$	$\text{мг}/\text{м}^3$	249
Масова концентрація CO	$CO$	$\text{мг}/\text{м}^3$	49,0
Масова концентрація NOx при $h=1$	$C_{NO_x(h=1)}$	$\text{мг}/\text{м}^3$	286,3
Масова концентрація CO при $h=1$	$C_{CO(h=1)}$	$\text{мг}/\text{м}^3$	56,34
Питомий викид NOx	$b_{NO_x}$	мг/кВт*год	264,4
Питомий викид CO	$b_{CO}$	мг/кВт*год	52,02
Питомий викид NOx	$b_{NO_x}$	г/ГДж	73,4
Питомий викид CO	$b_{CO}$	г/ГДж	14,5
Секундний викид NOx	$M_{NO_x}$	г/с	12,1
Секундний викид CO	$M_{CO}$	г/с	2,39

Зведені енергетичні та екологічні показники роботи котла наведено у таблиці 1.14 .

Таблиця 1.14 - Зведені енергетичні та екологічні показники роботи котла ПТВМ-180

Енергетичні показники			
Теплопродуктивність котла	$Q_k$	МВт	165,237
Втрати теплоти з відхідними газами	$q_2$	%	6,824
Втрати теплоти з хім. недопалом	$q_3$	%	0,013
ККД котла	$\eta_{ка}$	%	93,113
Витрати палива	$B_g$	кг/с	5,137
Питома витрати палива	$b$	кг у.п/ГДж	36,616
Екологічні показники			
Питомий викид NOx	$b_{NO_x}$	мг/кВтгод	264,359
Питомий викид CO	$b_{CO}$	мг/кВтгод	52,022
Секундний викид NOx	$M_{NO_x}$	г/с	12,134
Секундний викид CO	$M_{CO}$	г/с	2,388

### 1.5 Висновки з розділу 1

У цьому розділі проаналізовано загальні дані про котел ПТВМ-180 теплопродуктивністю 180 Гкал/год, який має баштовий тип, водотрубний, радіаційний, прямоточний, із примусовою циркуляцією, обладнаний 20-ма штатними газо-мазутними пальниками вихрового типу РГМГ-9 з індивідуальними дуттьовими вентиляторами типу Ц-13-50 №5.

Котел повністю автоматизований. Зміна теплопродуктивності котла здійснюється кількістю працюючих пальників при постійній витраті води і змінному температурному перепаді. До конструкції котла включаються топкова камера, конвективна частина, обмурівка та каркас.

У комплексі з тепловими випробуваннями котла ПТВМ-180 ст. № 2 були визначені концентрації шкідливих речовин у відхідних газах, розраховані енергетичні показники та визначені екологічні величини котла ПТВМ-180.

Результати замірів величин надано в таблицях 1.1 та 1.2, розрахунок реальних значень енергетичних величин наведено у таблицях 1.3-1.10. Екологічні показники наведено у таблицях 1.11 та 1.12.

У Таблиці 1.13 показано визначення питомих викидів забруднюючих речовин ПТВМ-180 ст.№2 ТЕЦ-5 при роботі на природному газі .

Зведені енергетичні та екологічні показники роботи котла наведено у таблиці 1.14 .

## 2 ОСОБЛИВОСТІ ШТАТНОЇ ПАЛЬНИКОВОЇ СИСТЕМИ КОТЛА

### 2.1 Загальні дані про штатну пальникову систему котла

Котел ПТВМ-180 обладнаний 20-ма штатними газо-мазутними пальниками типу РГМГ-9 витратою 1025  $\text{м}^3/\text{год}$  газу або 1,1 т/год мазуту. Пальники РГМГ-9 встановлені на фронтівій і задній стінках нижньої частини топочної камери в 2 яруси. Конструкція пальника передбачає периферійне підведення газу і механічний розпил мазуту ( рисунок 2.1 та 2.2 ).

Первинне повітря підводиться по міжтрубному простору між трубою розмірами 194/200 мм та трубою розмірами 523/529 мм через реєстр до амбразури пальника. Вторинне повітря підводиться по трубці розмірами 194/200 мм до амбразури пальника. Мазутна форсунка підводиться через трубку розмірами 70/76 мм до амбразури пальника. Реєстр пальника РГМГ-9 має 18 поворотних лопаток.

У пальниках застосовані спеціального типу мазутні форсунки механічного розпилювання, з охолодженням мережевою водою. Тиск мазуту перед форсункою не повинен бути нижче 14,5  $\text{кГс}/\text{см}^2$ , тиск газу перед пальником складає  $0,15 \div 0,2 \text{ кГс}/\text{м}^2$ .

На кожен пальник встановлений окремий дуттьовий вентилятор.

За паспортним даним на котлі встановлені вентилятори Ц-13-50 №5 (табл.2.1).

Таблиця 2.1 - Основні технічні дані дуттьового вентиляторів

Тип вентилятору	Ц-13-50 №5
Продуктивність, $\text{м}^3/\text{год}$	14000
Тиск, $\text{кг}/\text{м}^2$	$40 \div 100$
Тип електродвигуна	АО-63-6
Потужність, кВт	13
Швидкість обертання, об/хв	970
Діаметр амбразури пальника, мм	449

Ескізи штатного пальника РГМГ-9 зображено на рисунок 2.1 та рисунок 2.2.

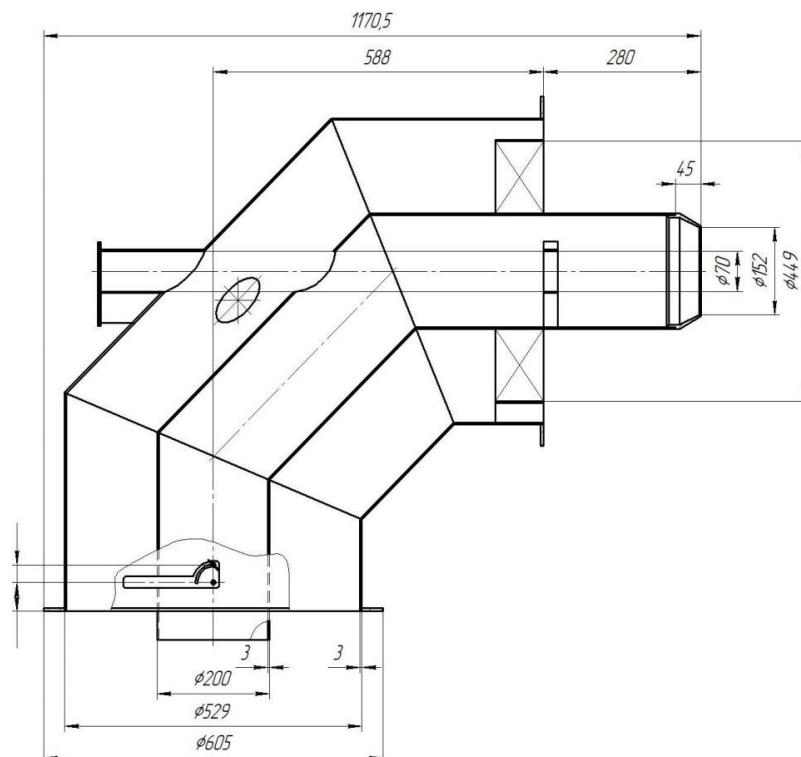


Рисунок 2.1 - Пальник штатний типу РГМГ-9 . Повздовжній розріз

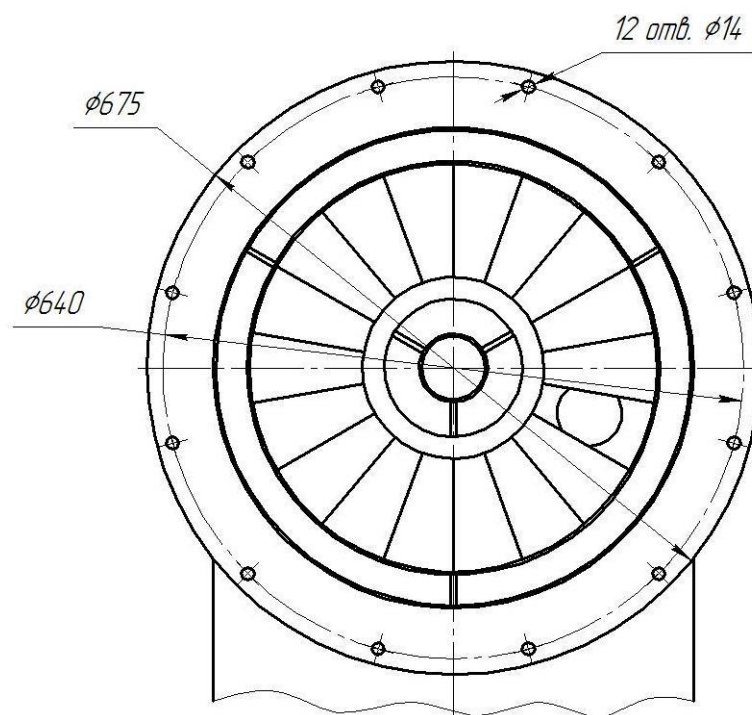


Рисунок 2.2 - Пальник штатний типу РГМГ-9 . Вигляд спереду

## 2.2 Розрахунок аеродинамічного опору штатного пальника РГМГ-9

З метою виявлення аеродинамічних та теплових особливостей штатного пальника РГМГ-9 здійснено визначення його аеродинамічного опору та моделювання процесів сумішоутворення газо-повітряної суміші для спалювання у топці котла природного газу за існуючими методиками [4]. Площа поперечного перерізу патрубку первинного повітря,  $\text{м}^2$  :

$$f_{\text{патр перв}} = \frac{\pi}{4} (d_{\text{патр перв}}^2 - D_{\text{патр втор}}^2) \quad (2.1)$$

$$f_{\text{патр перв}} = \frac{3,14}{4} (0,523^2 - 0,2^2) = 0,1834 \text{ .}$$

1) Площа поперечного перерізу патрубку вторинного повітря,  $\text{м}^2$  :

$$f_{\text{патр втор}} = \frac{\pi d_{\text{патр втор}}^2}{4} \quad (2.2)$$

$$f_{\text{патр втор}} = \frac{3,14 \cdot 0,194^2}{4} = 0,0296 \text{ .}$$

2) Витрата повітря в патрубку первинного повітря  $\text{м}^3/\text{с}$  :

$$V_{\text{перв}} = V_{\text{нов}} \frac{f_{\text{патр перв}}}{f_{\text{патр перв}} + f_{\text{патр втор}}} \quad (2.3)$$

$$V_{\text{перв}} = 3,514 \frac{0,1834}{0,1834 + 0,0296} = 3,026 \text{ .}$$

3) Витрата повітря в патрубку вторинного повітря  $\text{м}^3/\text{с}$  :

$$V_{\text{втор}} = V_{\text{нов}} - V_{\text{перв}} \quad (2.4)$$

$$V_{\text{втор}} = 3,514 - 3,026 = 0,488 \text{ .}$$

4) Швидкість повітря в патрубку первинного повітря  $\text{м}/\text{с}$  :

$$W_{\text{н е р в}} = \frac{V_{\text{н е р в}}}{f_{\text{н а т р н}}} \quad (2.5)$$

$$W_{\text{перв}} = \frac{3,026}{0,1834} = 16,500 \text{ .}$$

5) Швидкість повітря в патрубку вторинного повітря  $\text{м}/\text{с}$  :

$$W_{\text{втор}} = \frac{V_{\text{втор}}}{f_{\text{патр втор}}} \quad (2.6)$$

$$W_{\text{втор}} = \frac{0,488}{0,0296} = 16,510 \text{ .}$$

6) Еквівалентний діаметр патрубку первинного повітря,  $m$

$$D_{екв\ перв} = \frac{4f_{перв}}{\Pi_{перв}} = \frac{4f_{перв}}{\pi(d_{перв} + D_{втор})} \quad (2.7)$$

$$D_{екв\ перв} = \frac{4 \cdot 0,1834}{3,14(0,523 + 0,2)} = 0,323 .$$

7) Число Рейнольдса в патрубку вторинного повітря:

$$Re_{втор} = \frac{W_{втор} d_{втор}}{\nu} , \quad (2.8)$$

де  $\nu = 15,06 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{c}$  для  $t_{пов} = 20^\circ C$  ;

$$Re_{втор} = \frac{16,510 \cdot 0,194}{15,06 \cdot 10^{-6}} = 212679 .$$

8) За  $Re_{втор} = 212679$  коефіцієнт лінійного опору тертя  $\lambda_{втор} = 0,016$ .

9) За  $D_{екв\ перв} = 0,323 m$  коефіцієнт місцевого опору повороту  $\xi_{повор\ перв} = 0,355$ .

10) За  $D_{втор} = 0,194 m$  коефіцієнт місцевого опору повороту  $\xi_{повор\ втор} = 0,341$ .

11) Для  $t_{пов} = 20^\circ C$  густина повітря  $\rho = 1,205 \frac{kg}{m^3}$ .

12) Аеродинамічний опір патрубку первинного повітря,  $Pa$ :

$$\Delta P_{патр\ перв} = \xi_{повор\ перв} \frac{\rho W_{перв}^2}{2} \quad (2.9)$$

$$\Delta P_{патр\ перв} = 0,355 \frac{1,205 \cdot 16,5^2}{2} = 58,2 .$$

13) Аеродинамічний опір патрубку вторинного повітря,  $Pa$ :

$$\Delta P_{патр\ втор} = \left( \lambda \frac{l_{патр\ втор}}{d_{втор}} + \xi_{повор\ втор} \right) \frac{\rho W_{втор}^2}{2} , \quad (2.10)$$

де  $l_{патр\ втор}$  – довжина прямої ділянки патрубку вторинного повітря після повороту,

$$l_{патр\ втор} = 0,32 m ;$$

$$\Delta P_{патр\ втор} = \left( 0,016 \frac{0,32}{0,194} + 0,341 \right) \frac{1,205 \cdot 16,51^2}{2} = 60,3 .$$

14) Площа входу та виходу з реєстра без врахування лопаток,  $m^2$ :

$$f_{рвх} = f_{рвих} = \frac{\pi}{4} (d_{амбр}^2 - D_{втор}^2) \quad (2.11)$$

$$f_{рвх} = f_{рвих} = \frac{3,14}{4} (0,439^2 - 0,2^2) = 0,1199 .$$

15) Коефіцієнт місцевого опору на вході в реєстр:

$$\xi_{\text{вх}} = 1,2 \left( \frac{f_{p \text{ вх}}}{f_{\text{напр перв}}} + 2 \right) \left( 1 - \frac{f_{p \text{ вх}}}{f_{\text{напр перв}}} \right) \quad (2.12)$$

$$\xi_{\text{вх}} = 1,2 \left( \frac{0,1199}{0,1834} + 2 \right) \left( 1 - \frac{0,1199}{0,1834} \right) = 1,102.$$

16) Втулочне відношення реєстру:

$$\frac{r_{p\kappa}}{r_{p\text{н}}} = \frac{D_{\text{напр втор}}}{D_{\text{амбр}}} \quad (2.13)$$

$$\frac{r_{p\kappa}}{r_{p\text{н}}} = \frac{0,2}{0,439} = 0,4556.$$

17) Коефіцієнт місцевого опору в міжлопаточних каналах:

$$\xi_{\text{л}} = \frac{\left[ 1 - \left( \frac{r_{p\kappa}}{r_{p\text{н}}} \right)^2 \right]^2 (2-m)^2 \operatorname{tg}^2 \varphi}{4 \left[ 1 - \left( \frac{r_{p\kappa}}{r_{p\text{н}}} \right)^{2-m} \right]^2 m \left( \frac{r_{p\kappa}}{r_{p\text{н}}} \right)^{2m}} - 1, \quad (2.14)$$

де  $\varphi$  – кут встановлення лопаток,  $\varphi = 45^\circ$ ,

$$m = \frac{\sin 2\varphi}{(2 - \sqrt{\cos \varphi})^4} \quad (2.15)$$

$$m = \frac{\sin 2 \cdot 45^\circ}{(2 - \sqrt{\cos 45^\circ})^4} = 0,554$$

$$\xi_{\text{л}} = \frac{\left[ 1 - (0,4556)^2 \right]^2 (2 - 0,554)^2 \operatorname{tg}^2 45^\circ}{4 \left[ 1 - (0,4556)^{2-0,554} \right]^2 0,554 (0,4556)^{2 \cdot 0,554}} - 1 = 1,008$$

18) Коефіцієнт місцевого опору на виході з реєстру:

$$\xi_{\text{вх}} = 2,4 \frac{f_{p \text{ вх}}}{f_{\text{амбр}}} \left( \frac{f_{p \text{ вх}}}{f_{p \text{ вих}}} - \frac{f_{p \text{ вх}}}{f_{\text{амбр}}} \right) \quad (2.16)$$

$$\xi_{\text{вх}} = 2,4 \frac{0,1199}{0,1834} \left( \frac{0,1199}{0,1199} - \frac{0,1199}{0,1834} \right) = 0,543.$$

19) Коефіцієнт місцевого опору реєстра складається з коефіцієнтів місцевих опорів на вході та виході і в міжлопаточних каналах:

$$\xi_{\text{рег}} = \xi_{\text{вх}} + \xi_{\text{л}} + \xi_{\text{вих}} \quad (2.17)$$

$$\xi_{\text{рег}} = 1,102 + 1,008 + 0,543 = 2,653.$$

20) Швидкість повітря на вході в реєстр,  $\frac{m}{c}$  :

$$W_{рег} = \frac{V_{перв}}{f_{рвх}} \quad (2.18)$$

$$W_{рег} = \frac{3,026}{0,1199} = 25,227 .$$

21) Аеродинамічний опір реєстру,  $Па$  :

$$\Delta P_{рег} = \xi_{рег} \frac{\rho W_{рег}^2}{2} \quad (2.19)$$

$$\Delta P_{рег} = 2,653 \frac{1,205 \cdot 25,227^2}{2} = 1017,2 .$$

22) Аеродинамічний опір пальника по тракту первинного повітря,  $Па$  :

$$\Delta P_{перв} = \Delta P_{патрперв} + \Delta P_{рег} \quad (2.20)$$

$$\Delta P_{перв} = 58,2 + 1017,2 = 1075,4 .$$

23) Оскільки аеродинамічний опір пальника по тракту вторинного повітря  $\Delta P_{патрвтор} = 60,3 Па$  менший за аеродинамічний опір пальника по тракту первинного повітря, то аеродинамічний опір пальника,  $Па$

$$\Delta P_{пальн} = \Delta P_{перв} \quad (2.21)$$

$$\Delta P_{пальн} = 1075,4 .$$

Основні аеродинамічні характеристики штатного пальника РГМГ-9 у таблиці 2.2

Таблиця 2.2 - Основні аеродинамічні характеристики штатного пальника РГМГ-9

Найменування характеристики	Значення
Площа поперечного перерізу патрубку первинного повітря, $m^2$	0,1834
Площа поперечного перерізу патрубку вторинного повітря, $m^2$	0,0296
Витрата повітря в патрубку первинного повітря, $m^3/c$	3.026
Витрата повітря в патрубку вторинного повітря, $m^3/c$	0.488
Швидкість повітря в патрубку первинного повітря, $m/c$	16,50
Швидкість повітря в патрубку вторинного повітря, $m/c$	16.51
Аеродинамічний опір патрубку первинного повітря, $Па$	58.20
Аеродинамічний опір патрубку вторинного повітря, $Па$	60.30
Аеродинамічний опір пальника, $Па$	1075.4

З метою дослідження сумішоутворювальних процесів на котлоагрегаті ПТВМ-180 ст. №2 ТЕЦ-5 СВП «Київські ТЕЦ» КП «КИЇВТЕПЛОЕНЕРГО» були проведені заміри швидкості



повітря на вході у штатний пальник типу РГМГ-9. Отримані дані з аеродинамічних властивостей вентиляторів та пальників наведено у табл.2.3 та використані у розрахунках на математичній моделі пальника у топці котла.

Таблиця 2.3 – Результати замірів швидкості повітря у вхідному повітряному тракті вентиляторів штатних пальників типу РГМГ-9

Порядковий номер вентилятора	Швидкість повітря в перерізі, м/с	Витрата повітря*, м <sup>3</sup> /с	Витрата повітря*, м <sup>3</sup> /год
1	21,7	3,451236	12424,45
2	21,4	3,403523	12252,68
3	24	3,817035	13741,33
4	12,7	2,019848	7271,452
5	15	2,385647	8588,329
6	20,3	3,228576	11622,87
7	25,7	4,087408	14714,67
8	18,4	2,926394	10535,02
9	19,4	3,085437	11107,57
10	12,9	2,051656	7385,963
11	15,2	2,417456	8702,84
12	22,6	3,594375	12939,75
13	25,6	4,071504	14657,41
14	15,6	2,481073	8931,862
15	26,1	4,151026	14943,69
16	12,8	2,035752	7328,707
17	27,4	4,357782	15688,01
18	24	3,817035	13741,33
19	24,5	3,896557	14027,6
20	26	4,135121	14886,44

\* розрахунок проводився при діаметрі вхідного отвору повітряного тракту  $d=0,45\text{м}$ .

Отримані дані з аеродинамічних властивостей вентиляторів та пальників штатного типу (таблиця 2.3) свідчать про суттєву різницю у швидкостях та витратах повітря для різних пальників з вентиляторамі одного типу. Наявність такої різниці у показниках витрати повітря свідчить про наявність різних аеродинамічних властивостей вентиляторів, повітряних трактів та опору пальників.

З урахуванням вище наведених даних це потрібно врахувати під час моделювання аеродинамічних процесів при спалюванні палива, оскільки якість спалювання суттєво залежить від якості сумішеутворення, реального значення коефіцієнту збитку повітря та умов передачі теплоти випромінюванням та конвекцією від факелу до поверхонь нагріву.

### 2.3 Моделювання аеродинамічних процесів у штатному пальнику РГМГ-9 та загальні результати

У програмному середовищі «SolidWorks» змодельовано форму та основні конструктивні елементи [5] у реальному масштабі штатного пальника РГМГ-9 ( рисунок 2.3 та 2.4 ).

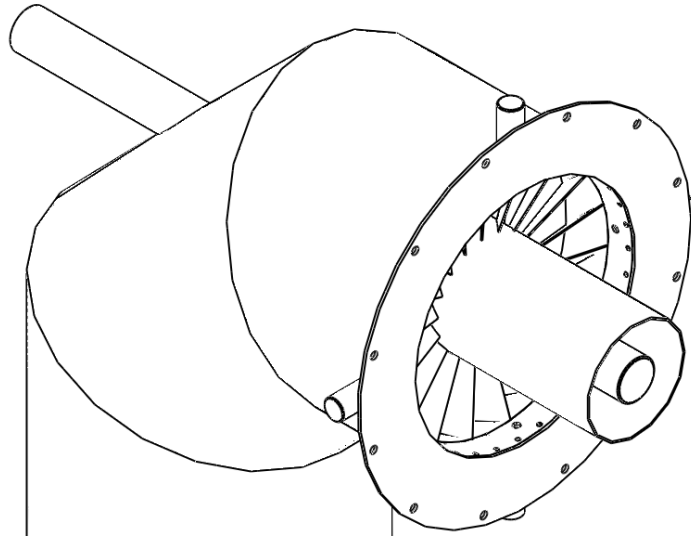


Рисунок 2.3 - Модель штатного пальника РГМГ-9

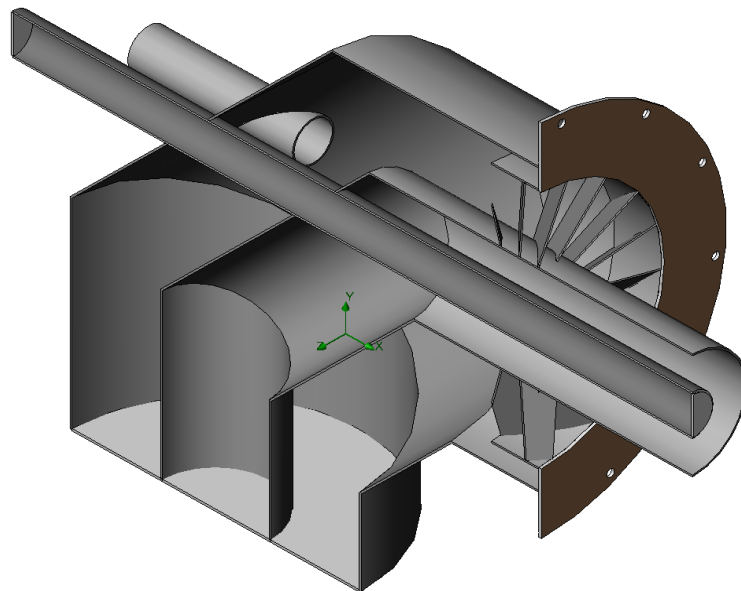


Рисунок 2.4 - Модель компоновки та форми штатного пальника РГМГ-9

Моделювання аеродинамічних процесів у штатному пальнику типу РГМГ-9 відбувалися із припущенням, що для усіх пальників швидкість та витрата повітря є однаковими для усього вихідного поперечному перерізу пальника.

Це припущення дозволяє в ідеальних умовах дослідити властивості впливу конструктивних

особливостей пальника на результати сумішеутворення. В результаті моделювання аеродинамічних

процесів у штатному пальнику РГМГ-9 були отримані такі результати.

- Розподіл швидкостей повітря у повздовжньому розрізі у штатному пальнику РГМГ-9;
- Розподіл тисків повітря у повздовжньому розрізі у штатному пальнику РГМГ-9,
- Розподіл концентрації газу у повздовжньому розрізі у штатному пальнику РГМГ-9,
- Розподіл швидкостей повітря у штатному пальнику РГМГ-9 у поперечному розрізі на вході в котел,
- Розподіл швидкостей повітря у поперечному розрізі на відстані 200 мм від входу штатного пальника РГМГ-9 в котел .

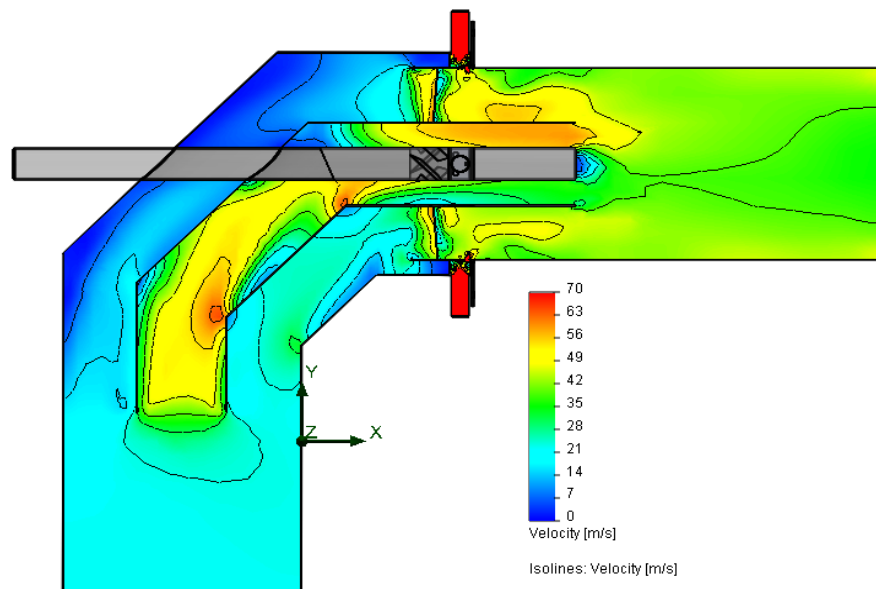


Рисунок 2.5 - Розподіл швидкостей повітря у повздовжньому розрізі у штатному пальнику РГМГ-9

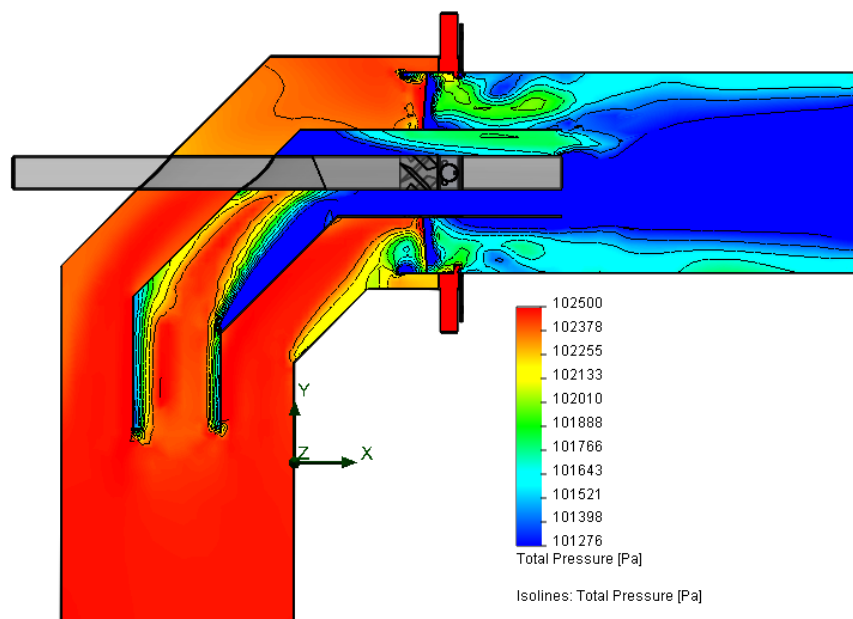


Рисунок 2.6 - Розподіл тисків повітря у повздовжньому розрізі у штатному пальнику РГМГ-9

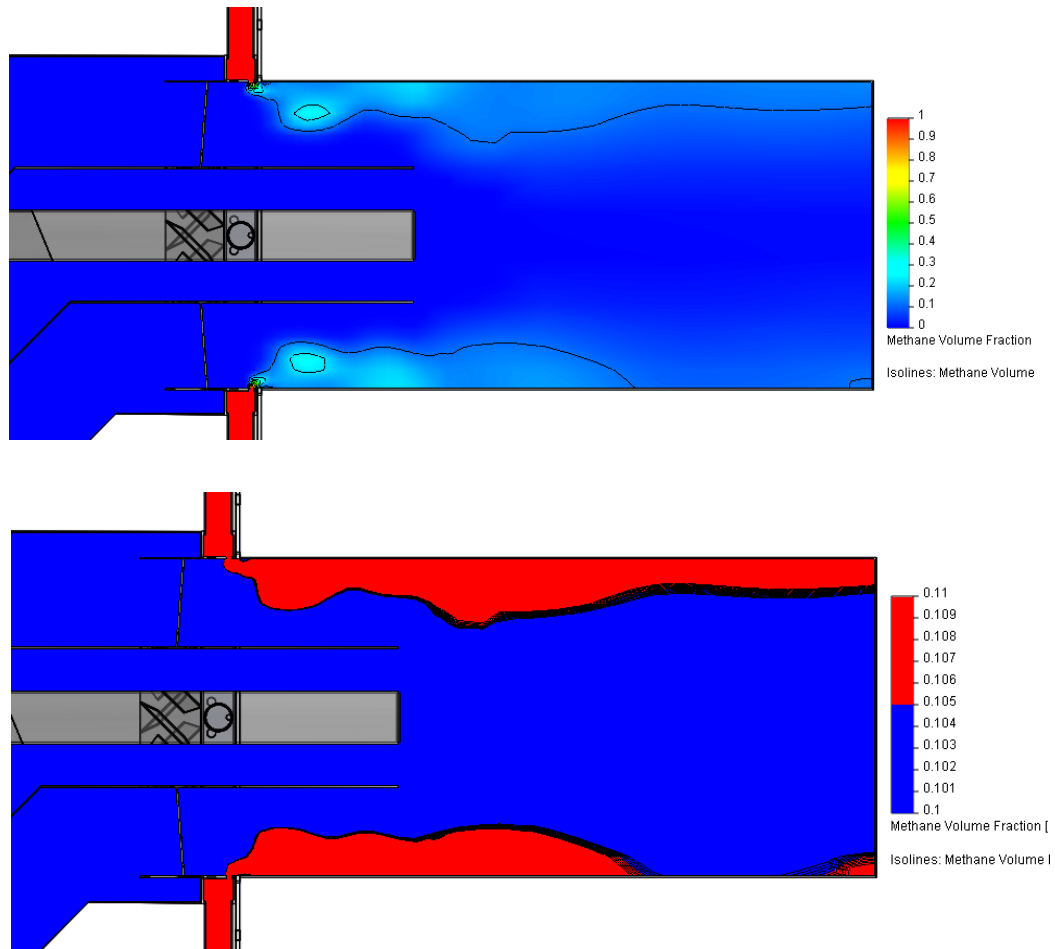


Рисунок 2.7 - Розподіл концентрації газу у повздовжньому розрізі у штатному пальнику РГМГ-9

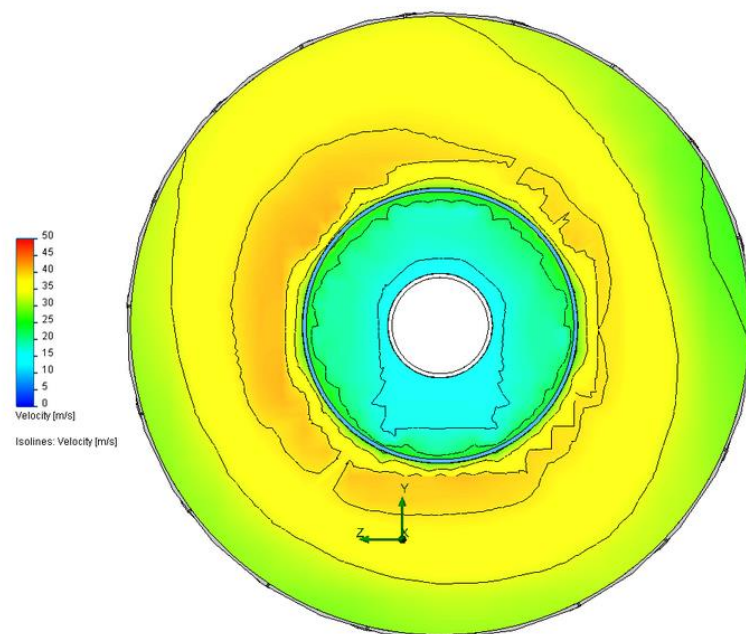


Рисунок 2.8 - Розподіл швидкостей повітря у штатному пальнику РГМГ-9  
у поперечному розрізі на вході в котел

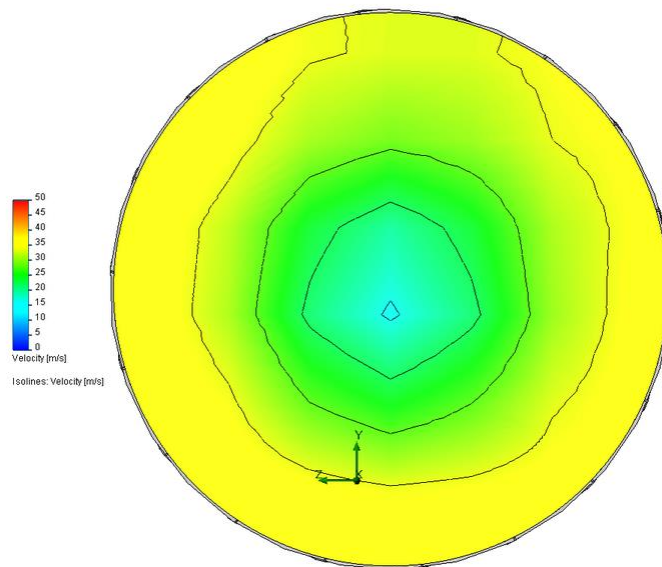


Рисунок 2.9 - Розподіл швидкостей повітря у поперечному розрізі на відстані 200 мм від входу штатного пальника РГМГ-9 в котел

З проведених аналітичних розрахунків та досліджень на моделі аеродинамічних характеристик штатних пальників РГМГ-9 отримано наступні результати:

- 1) Штатний пальник РГМГ-9 має нерівномірний розподіл швидкостей повітря на виході з пальника. Таким чином має місце недостатньо якісне сумішоутворення та довгий факел, його довжина набагато більша за 900 мм з тенденцією значного збільшення процесу повного спалювання горючих компонентів паливо-повітряної суміші;
- 2) Аеродинамічний опір пальника РГМГ-9 є суттєво високим, що ускладнює стабільне забезпечення повітрям процесів сумішоутворення та роботу вентиляторів;
- 3) При спалювання газу висока нерівномірність газо-повітряної суміші на виході з пальника РГМГ-9 призводить до перекосів факелу у площині топки і, як наслідок, до нерівномірного розподілу температур по об'єму топки котла. Ця обставина здатна спричинити локальні перегріву екранних трубок котла, що зменшує термін їх експлуатації.
- 4) За рахунок існування у топці зон з малою швидкістю руху суміші та високої концентрації палива в них відбувається підвищення температури згоряння, що сприяє утворенню у цих зонах значних концентрацій шкідливих оксидів азоту ( $\text{NO}_x$ ).

Названі вище особливості та неможливість забезпечення високого рівня якості сумішоутворення та спалювання природного газу штатними пальниками РГМГ-9, які не відповідають загальним класичним вимогам до пальників, створюють об'єктивні обставини заміни штатних морально та фізично застарілих пальників на сучасні, більш ефективні та екологічно безпечні. До таких пальників відносяться мікрофакельні пальники, що розроблені в ННЦ «ЕКОТЕЗ» НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського» й успішно використовуються у енергетичних котлах.

## 2.4 Висновки з розділу 2

У цьому розділі досліджено особливості штатної пальникової системи котла.

Котел ПТВМ-180 обладнаний 20-ма штатними газо-мазутними пальниками типу РГМГ-9 витратою 1025 нм<sup>3</sup>/год газу або 1,1 т/год мазуту. Пальники РГМГ-9 встановлені на фронтівій і задній стінках нижньої частини топочної камери в 2 яруси. На кожен пальник встановлений окремий дуттьовий вентилятор. За паспортним даним на котлі встановлені вентилятори Ц-13-50 №5.

Розрахувала основні аеродинамічні характеристики штатного пальника РГМГ-9, аеродинамічного опору РГМГ-9 є суттєво високим, що ускладнює стабільне забезпечення повітрям процесів сумішоутворення та роботу вентиляторів, інші результати у таблиці 2.2.

У програмному середовищі «SolidWorks» змодельовано форму та основні конструктивні елементи у реальному масштабі штатного пальника РГМГ-9. Результаті моделювання аеродинамічних процесів у штатному пальнику РГМГ-9 отримані висновки, що штатний пальник РГМГ-9 має нерівномірний розподіл швидкостей повітря на виході з пальника; при спалювання газу висока нерівномірність газо-повітряної суміші на виході з пальника РГМГ-9 призводить до перекосів факелу у площині топки і, як наслідок, до нерівномірного розподілу температур по об'єму топки котла. Ця обставина здатна спричинити локальні перегріви екранних трубок котла, що зменшує термін їх експлуатації. За рахунок існування у топці зон з малою швидкістю руху суміші та високої концентрації палива в них відбувається підвищення температури згоряння, що сприяє утворенню у цих зонах значних концентрацій шкідливих оксидів азоту (NO<sub>x</sub>) [6] .

Названі вище особливості та неможливість забезпечення високого рівня якості сумішоутворення та спалювання природного газу штатними пальниками РГМГ-9 не відповідають загальним класичним вимогам до пальників.

### 3 ЗАГАЛЬНІ ТА КОНСТРУКТИВНІ ВЛАСТИВОСТІ ПАЛЬНИКА МГМП-9

#### 3.1 Загальні відомості про переваги мікрофакельного спалювання палива

Принцип факельного способу полягає в тому, що спалювання здійснюється в просторі топки. Рідке паливо форсунками розпорошується на дрібні краплі, а тверде паливо подрібнюється млинами до пилоподібного стану, подається разом з повітрям в топку і спалюється там в підвішеному стані. Так як поверхня пилу є більшою за поверхню шматка вугілля, то прогрівання частинок, вихід летких речовин і вигорання коксу відбувається швидше, а значить при однаковій площі поперечного перерізу топки факельного способу забезпечують вищу теплову потужність, щоб частки вугілля, що входять до складу ВВП, могли повністю прогоріти.

Спосіб мікрофакельного спалювання палива включає подачу газоподібного палива, подачу повітря, сумішоутворення та спалювання її на певній відстані від фронтальної поверхні пальника, причому паливо подається у міжтрубний простір з наступною подачею його у зону спалювання, а повітряні трубки забезпечують мікрофакельність у зоні спалювання та стабілізацію полум'я горіння газом через регулярну компоновку по всьому поперечному перерізу пальникового пристрою. При цьому газ подається із паливного об'єму у зону спалювання через стабілізатори у вигляді трубок необхідного розміру.

До переваг мікрофакельного спалювання відносять простоту схемного забезпечення при застосуванні на котлах широкого діапазону потужності. Для збереження експлуатаційних характеристик котлів при використанні факельного спалювання, фізичні параметри ВВП повинні максимально відповідати проектним значенням. Даний спосіб застосовувався на ТЕЦ-5 м. Новосибірська, а також з успіхом застосовується на об'єктах енергетичного комплексу Китаю.

При розробці мікрофакельного пальника були застосовані головні та класичні вимоги до створення високоефективного пальникового пристрою [7]:

- універсальність (можливість використовувати в різних топках);
- надійність (обмежене тепловиділення поблизу пальника при мінімальному проскакуванні);
- стійкість запалювання і стабілізація фронту горіння в широких межах.
- простота конструкції;
- мінімальний аеродинамічний опір по повітряному тракту;
- забезпечення сумішоутворення заданої інтенсивності, достатнє для завершення горіння газу в конкретній установці;
- забезпечення повноти згорання газу при мінімальному коефіцієнті надлишку повітря;

- забезпечення безшумності роботи і відсутність вібрацій в арматурі і всіх елементах;
- забезпечення збереження обладнання для інших видів палива.

З метою проведення модернізації штатної пальникової системи котла ПТВМ-180 запропоновано використати мікрофакельні пальники, що розроблені в НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського» й базуються на використанні перевах сумішоутворення за допомогою трубчастих елементів у вигляді насадка Борда [8,9,10].

На основі наукових досліджень і розробок з урахуванням сучасних вимог до процесів спалювання газоподібного палива в НТЦ "ЕКОТЕЗ" створена нова вітчизняна високоефективна і екологічно "чиста" технологія спалювання будь-яких газоподібних палив (природний газ, біогаз, газ-метан і тому подібне), яка дістала назву мікрофакельної, основним елементом в ній виступає трубчастий модуль ( рисунок 3.1 ) [11].

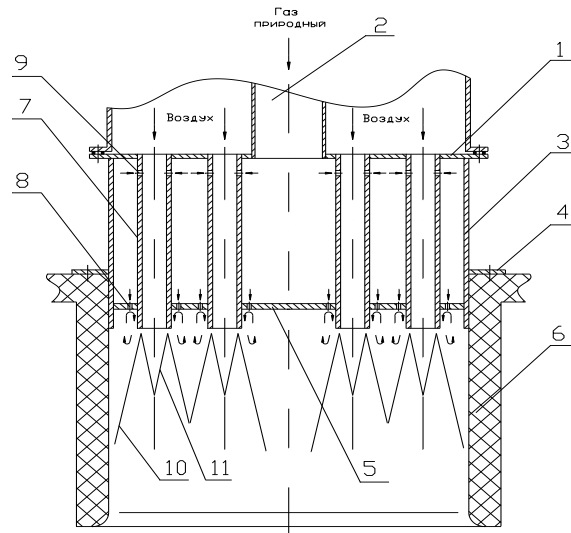


Рисунок 3.1 - Схема мікрофакельного пальника на базі трубчастих модулів

Для проведення попередніх аеродинамічних та модельних досліджень була розроблена оптимальна конструкція та форма мікрофакельного газо-мазутного пальника типу МГМП-9 тепловою потужністю 9 Гкал/год.

Після конструктивних розробок, визначення компоновки та загальної конструкції пальника типу МГМП -9 проведено аналітичні та модельні дослідження його властивостей.

### 3.2 Розрахунок аеродинамічного опору пальника МГМП-9

Для визначення опору пальника розглянемо трубчастий пальник з нормальним коліном в повітряному патрубку з радіусом повороту  $R = 444 \text{ мм}$  ( рисунок 3.2 ).



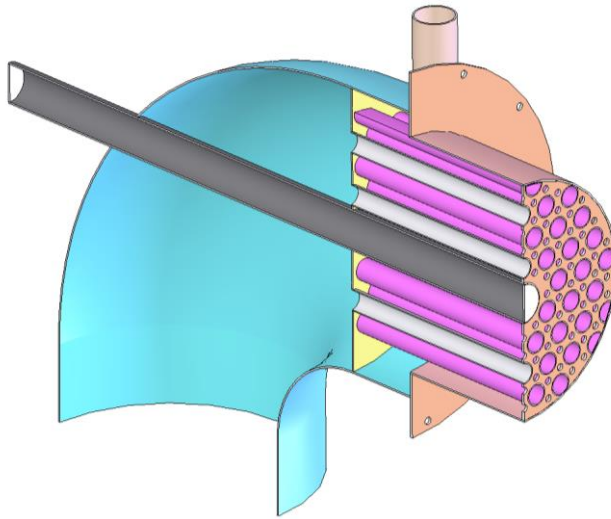


Рисунок 3.2 - Модель пальника МГМП-9

Розрахунок аеродинамічного опору пальника МГМП-9 здійснюється за такою послідовністю:

1) Коефіцієнт місцевого опору повороту складається з місцевого опору та опору на тертя:

$$\xi_{\text{повор}} = \xi_m + \xi_{\text{тр}} \quad (3.1)$$

Коефіцієнт місцевого опору:

$$\xi_m = A_1 B_1 C_1 \quad (3.2)$$

де  $A=1,0$  для куту повороту потоку  $\delta = 90^\circ$ ,  $C_1=1,0$  для круглого перетину,

$$B_1 = 0,21 \left( \frac{R}{d_{\text{напр}}} \right)^{-2,5} \quad (3.3)$$

$$B_1 = 0,2 \left( \frac{0,44}{0,523} \right)^{2,5} = 0,3$$

$$\xi_m = 1,0 \cdot 0,316 \cdot 1,0 = 0,316$$

Коефіцієнт опору на тертя в коліні:

$$\xi_{\text{тр}} = 0,0175 \delta \lambda \frac{R}{d_{\text{напр}}} \quad (3.4)$$

$$\xi_{\text{тр}} = 0,0175 \cdot 90 \cdot 0,013 \cdot \frac{0,44}{0,523} = 0,017$$

Коефіцієнт місцевого опору повороту

$$\xi_{\text{повор}} = 0,316 + 0,017 = 0,333$$

2) Довжини прямих ділянок патрубку:

$l_1 = 0,144 \text{ м}$  - довжина прямої ділянки патрубку перед поворотом;

$l_2 = 0 \text{ м}$  - довжина прямої ділянки патрубку після повороту;

3) Аеродинамічний опір пальника МГМП-9,  $Па$ :

$$\Delta P_{пальн} = (\lambda_{намп} \frac{l_1 + l_2}{d_{намп}} + \xi_{повор} + \xi_{тр}) \frac{\rho W_{намп}^2}{2} \quad (3.5)$$

де  $\lambda_{намп}$  – коефіцієнт лінійного опору патрубку; з аеродинамічного розрахунку першого варіанту трубчастого пальника  $\lambda_{намп} = 0,013$ ;

$\xi_{тр}$  – коефіцієнт гідравлічних втрат трубної системи; з аеродинамічного розрахунку першого варіанту трубчастого пальника  $\xi_{тр} = 1,584$ ;

$$\Delta P_{пальн} = (0,013 \frac{0,144}{0,023} + 0,333 + 1,584) \frac{1,205 \cdot 16,357^2}{2} = \dots$$

Результати розрахунків аеродинамічного опору пальників зводимо у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 - Результати розрахунків аеродинамічного опору пальника РГМГ-9 та МГМП-9

Найменування характеристики, величини	Штатний пальник РГМГ-9	Пальник МГМП-9
Аеродинамічний опір пальника, $Па$	1075,4	309,6
Зменшення аеродинамічного опору пальника в порівнянні зі штатним, %	0	71,2

Таким чином в порівнянні зі штатним пальником РГМГ-9 аеродинамічний опір пальника МГМП-9 зменшується до 71,2%.

### 3.3 Моделювання та аналіз аеродинамічних процесів у пальнику МГМП-9

В результаті моделювання аеродинамічних процесів у пальнику МГМП-9 були отримані наступні результати:

- розподіл швидкостей повітря у повздовжніх розрізах пальника МГМП-9.;
- розподіл тиску повітря у повздовжньому розрізі пальника;
- розподіл концентрації газу у повздовжньому розрізі пальника;
- розподіл швидкостей повітря в пальнику МГМП-9 у поперечному розрізі на вході в котел.

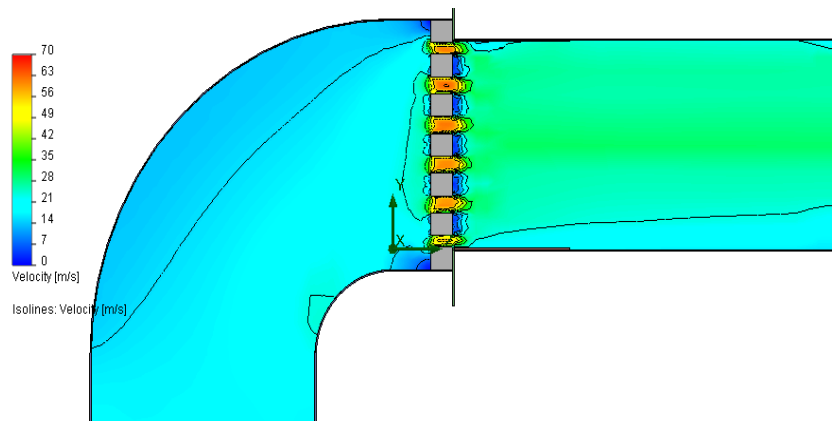


Рисунок 3.3 - Розподіл швидкостей повітря у повздовжньому розрізі в пальнику МГМП-9

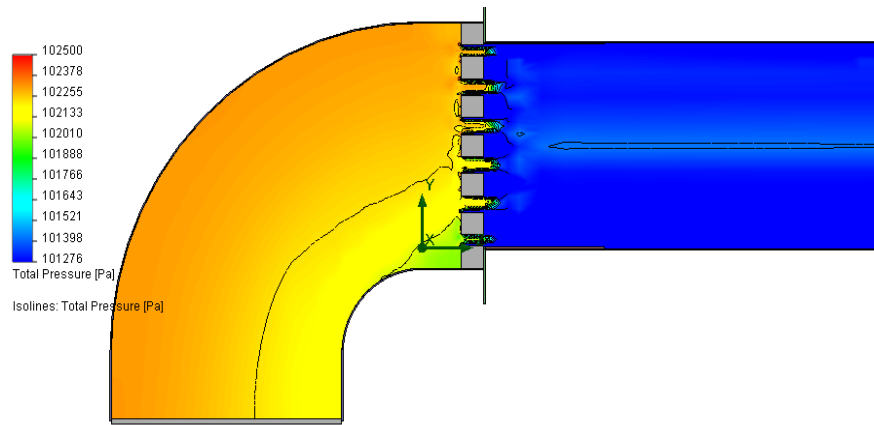


Рисунок 3.4 - Розподіл тиску повітря у повздовжньому розрізі в пальнику МГМП-9

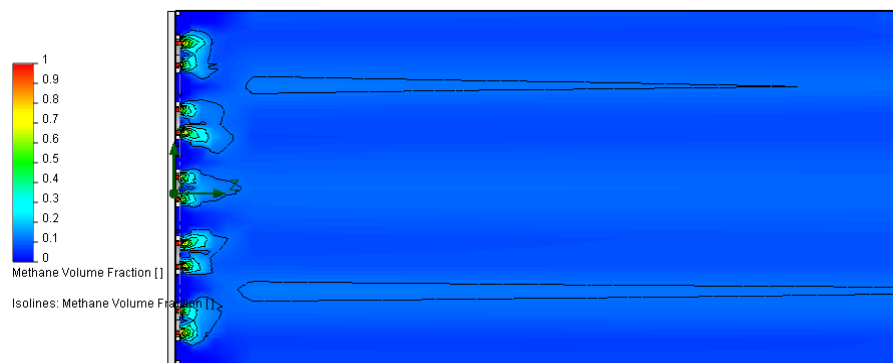


Рисунок 3.5 - Розподіл концентрації газу у повздовжньому розрізі в пальнику МГМП-9

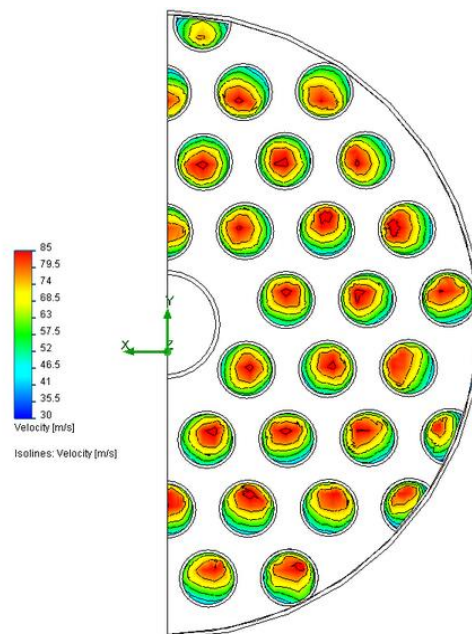


Рисунок 3.6 - Розподіл швидкостей повітря в пальнику МГМП-9  
у поперечному розрізі на вході в котел

Для пальника МГМП-9 були виміряні середні швидкості в трубах з найбільшою і найменшою витратою повітря.

Розрахуємо рівномірність розподілу повітря по пальника МГМП-9 за формулою:

$$K_p = \frac{\bar{W}_{\min}}{\bar{W}_{\max}} 100\% \quad . \quad (3.6)$$

Для пальника МГМП-9 варіант 1:

$$K_p = \frac{63,79}{72,33} 100\% = 88,2\% ;$$

для пальника МГМП-9 варіант 2:

$$K_p = \frac{63,33}{71,77} 100\% = 88,2\% ;$$

для пальника МГМП-9 варіант 3:

$$K_p = \frac{64,44}{67,33} 100\% = 95,7\% .$$

Таблиця 3.2 - Результати досліджень характеристик пальника МГМП-9

Параметр	Пальник МГМП-9
Середня швидкість повітря на виході з трубки з найбільшою витратою повітря, м/с	67,33
Середня швидкість повітря на виході з трубки з найменшою витратою повітря, м/с	64,44
Рівномірність розподілу повітря по трубкам пальника, %	95,7%

Також були отримані розподіли швидкостей повітря у поперечних розрізах на відстані 200 мм від входу пальників МГМП-9 в котел ( рисунок 3.7 )

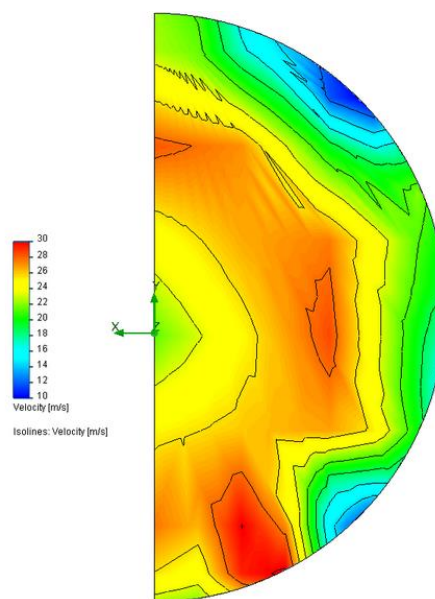


Рис.3.7 - Розподіл швидкостей повітря у поперечному розрізі у топці котла на відстані 200 мм від пальника МГМП-9

Результати вимірювань аеродинамічного опору пальника МГМП-9 на моделі зводимо у таблиці 3.3

Таблиця 3.3 - Результати розрахунків та моделювання аеродинамічного опору штатного пальника РГМГ-9 та пальника типу МГМП-9

	Пальник РГМГ-9	Пальник МГМП-9
Аеродинамічний опір пальника (розрахунок), $\text{кГс/м}^2$	1109	309
Аеродинамічний опір пальника (моделювання), $\text{кГс/м}^2$	1118	308
Відхилення розрахованого значення від значення, отриманого на моделі, %	8,1	0,5

Як бачимо з таблиць результати моделювання є досить точними, оскільки похибка не перевищує 10%. Це свідчить про адекватність моделі. Порівняння аналогічних характеристик штатного пальника РГМГ-9 та пальника МГМП-9 дає можливість визначити основні особливості:

1 В пальнику МГМП-9 має місце більш якісне сумішоутворення, та, як наслідок, менший факел (довжина менша за 900 мм) що створює умови для більш рівномірного розподілу температур по об'єму топки котла та більш рівномірного нагріву екранних трубок котла з одночасним збільшенням терміну їх експлуатації та підвищення ККД котла.

2 Для пальника МГМП-9 має місце рівномірний розподіл температур по об'єму топки котла та рівномірний нагрів екранних трубок котла, що створює умови для збільшення терміну їх експлуатації та підвищення ККД котла. Крім того, відсутні локальні зони утворення оксидів азоту (NOX).

3 Для пальника МГМП-9 має місце найменший аеродинамічний опір та найбільш рівномірний розподіл повітря по повітряним трубкам у порівнянні із штатним пальником РГМГ-9. Це забезпечує рівномірний розподіл швидкостей повітря на виході з пальника. Таким чином має місце рівномірне спалювання газу та, як наслідок, рівномірний розподіл температур по об'єму топки котла. Це спричиняє рівномірний нагрів екранних трубок котла, що збільшує ККД котла.

Вищевказані переваги дозволяють стверджувати, що розроблена мікрофакельна технологія повною мірою задовольняє сучасним світовим вимогам по ефективності і екологічній безпеці і може бути реалізована в паливних системах широкого призначення.

### 3.4 Порівняння основні характеристик пальників штатного типу РГМГ-9 та МГМП-9

Загальний вигляд пальника МГМП-9 наведено на рисунку 3.8.

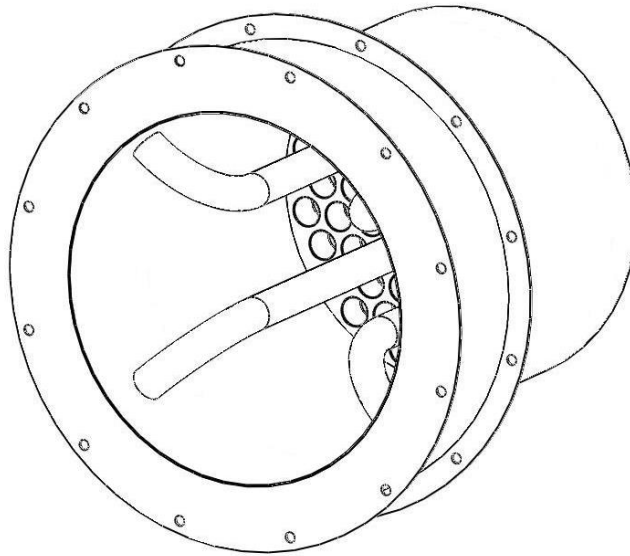


Рисунок 3.8 - Загальний вигляд пальника МГМП-9

Пальник МГМП-9 простий у проектуванні та виробництві (рисунок 3.9) має незначну вагу на рівні 56 кг (штатний важить більше 150 кг), легко монтується на місце штатного пальника РГМГ-9 у ту ж саму амбразуру, що дозволяє не змінювати конфігурацію поверхонь нагріву у топці котла, не потребує спеціального обслуговування та здатен працювати у широкому діапазоні навантаження від 5 до 120%, оскільки має значно менший аеродинамічний опір.

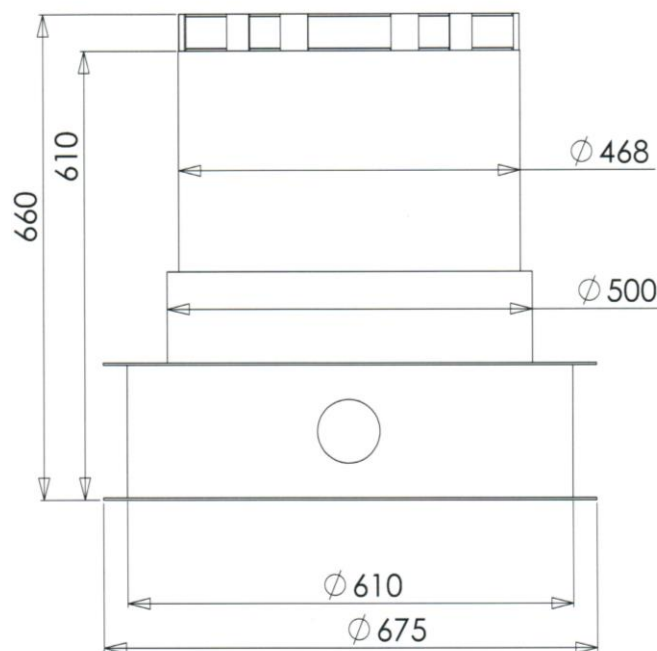


Рисунок 3.9 - Загальні конструктивні параметри мікрофакельного пальника типу МГМП-9

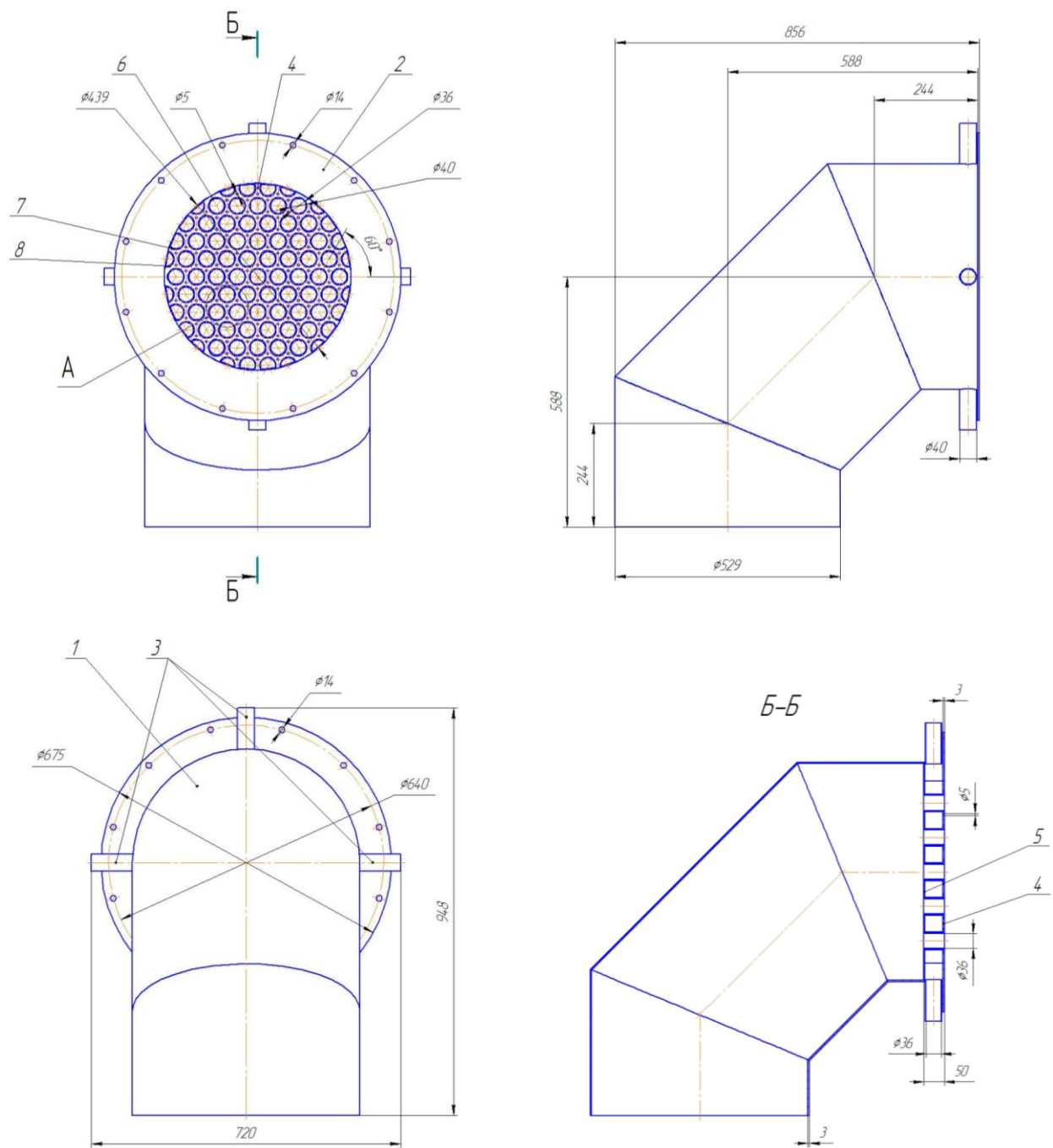


Рисунок 3.10 - Продольний розріз, фронтальний та боковий вигляд пальника МГМП-9 у сборі з повітряним коробом

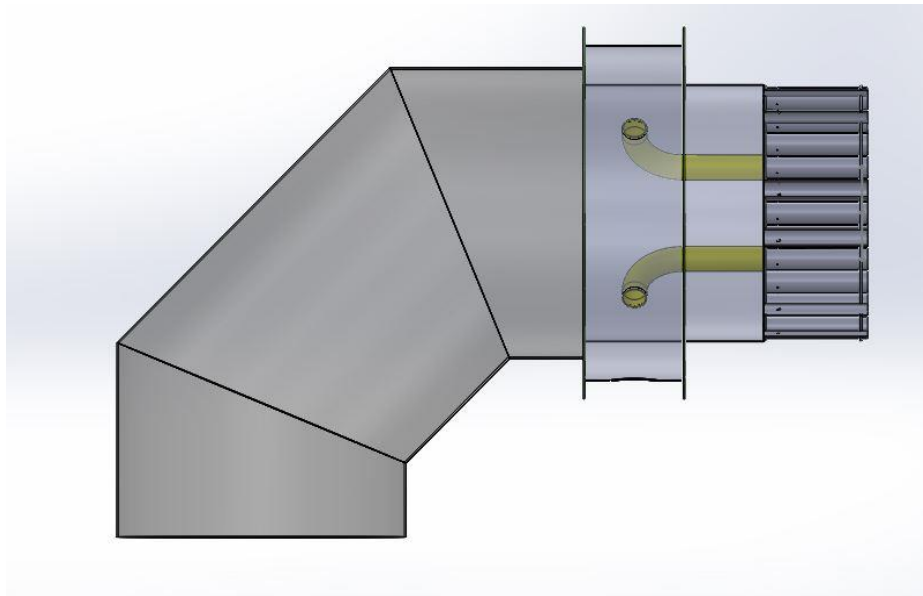


Рисунок 3.11 - Зовнішній вигляд приєднання пальника МГМП-9 до котла

Оскільки відсутні відомості щодо витрати повітря на пальник, але є інформація щодо витрати палива, його складу та діапазон коефіцієнтів надлишку повітря, то проведемо розрахунок горіння палива в табличній формі ( таблиця 3.6 )

#### 3.4.1 Конструктивні параметри штатного пальника РГМГ-9:

1) Об'ємна витрата газу,  $\frac{m^3}{c}$

$$V_g = 102 \frac{m^3}{200} = 0,21$$

2) Площа поперечного перерізу по газу знайдемо за формулою [5],  $m^2$  :

$$f_g = n_1 \cdot \frac{\pi d_{g1}^2}{4} + n_2 \cdot \frac{\pi d_{g2}^2}{4}, \quad (3.7)$$

де  $n_1$  – кількість газових отворів першого типу,  $n_1 = 32$ ;

$d_{g1}$  – діаметр газових отворів першого типу,  $d_{g1} = 7,5 \text{ мм}$ ;

$n_2$  – кількість газових отворів другого типу,  $n_2 = 8$ ;

$d_{g2}$  – діаметр газових отворів другого типу,  $d_{g2} = 12,2 \text{ мм}$ .

$$f_g = 32 \cdot \frac{3,14 \cdot 0,0075^2}{4} + 8 \cdot \frac{3,14 \cdot 0,0122^2}{4} = 0,002349.$$

3) Швидкість виходу газу з отвору для його підводу,  $\frac{m}{c}$

$$W_g = \frac{V_g}{f_g}, \quad (3.8)$$

$$W_g = \frac{0,2847}{0,002349} = 121,2.$$



4) Прохідний переріз пальника МГМП-9 по повітря складається з поперечного перерізу в реєстрі та в трубі вторинного повітря,  $m^2$

$$f_{нов} = f_{рег} + f_{вторнов}, \quad (3.9)$$

де  $f_{рег}$  – площа прохідного перерізу реєстра; вимірюємо його на побудованій моделі штатного пальника  $f_{рег} = 0,08473 m^2$ ;

$f_{вторнов}$  – поперечний переріз в трубі вторинного повітря:

$$f_{вторнов} = \frac{\pi}{4} (d_{вторнов}^2 - D_m^2), \quad (3.10)$$

де  $d_{вторнов}$  – внутрішній діаметр патрубку вторинного повітря;

$D_m$  – зовнішній діаметр труби для підводу мазутної форсунки.

$$f_{вторнов} = \frac{3,14}{4} (0,194^2 - 0,076^2) = 0,02502,$$

$$f_{нов} = 0,08473 + 0,02502 = 0,10975.$$

Обробка результатів розрахунку газоподібного палива (приводимо в табличній формі):

Таблиця 3.4 - Результати розрахунку горіння газоподібного палива

	$\alpha_1 = 1, \frac{M_H^3}{M_H^3}$	$\alpha_2 = 1,1, \frac{M_H^3}{M_H^3}$	$\alpha_2 = 1,4, \frac{M_H^3}{M_H^3}$
$V_{пов}$	9,686	10,654	13,560
$V_{пр зг}$	10,694	11,663	14,569

5) З проведених розрахунків бачимо, що стехіометричний коефіцієнт пальника РГМГ-9 лежить в діапазоні 9,686..13,560. Приймаємо для штатного пальника РГМГ-9 стехіометричний коефіцієнт рівний 13,56.

6) Об'ємна витрата повітря,  $\frac{M_H^3}{год}$

$$V_{нов} = 13,56 \cdot V_c, \quad (3.11)$$

$$V_{нов} = 13,56 \cdot 0,2847 = 3,861 \frac{M_H^3}{c} = 13900.$$

7) Швидкість виходу повітря з отвору підводу,  $m/c$

$$W_{нов} = \frac{V_{нов}}{f_{нов}}, \quad (3.12)$$

$$W_{нов} = \frac{3,861}{0,10975} = 35,1.$$

Результати проведених розрахунків зводимо у таблиці 3.5.

### 3.4.2 Конструктивні параметри пальника МГМП-9

- 1) Використаємо пальник з трубками по повітряю з внутрішнім діаметром 38 мм.
- 2) Кількість трубок по повітряю складає  $N_{\text{пов}}^{\text{заг}} = 81$  шт.
- 3) Кількість отворів по газу складає  $N_{\text{г}}^{\text{заг}} = 192$  шт.
- 4) Площа поперечного перерізу однієї трубки по повітряю,  $\text{м}^2$ :

$$f_{\text{пов}}^{\text{mp}} = \frac{\pi \cdot (d_{\text{пов}}^{\text{mp}})^2}{4}, \quad (3.13)$$

де  $d_{\text{пов}}^{\text{тр}}$  – внутрішній діаметр трубки по повітряю, м.

$$f_{\text{пов}}^{\text{тр}} = 3,14 \cdot 0,038^2 / 4 = 1,134 \cdot 10^{-3}.$$

- 5) Площа поперечного перерізу по повітряю на виході з пальника,  $\text{м}^2$ :

$$f_{\text{пов}}^{\text{mp}'} = f_{\text{пов}}^{\text{mp}} \cdot N_{\text{пов}}^{\text{заг}}, \quad (3.14)$$

$$f_{\text{пов}}^{\text{тр}'} = 1,134 \cdot 10^{-3} \cdot 81 = 0,09186.$$

- 6) Діаметр отвору по газу  $d_{\text{г}}^{\text{тр}} = 4$  мм = 0,004 м.
- 7) Площа поперечного перерізу одного отвору по газу,  $\text{м}^2$ :

$$f_{\text{г}}^{\text{mp}} = \frac{\pi \cdot (d_{\text{г}}^{\text{mp}})^2}{4}, \quad (3.15)$$

$$f_{\text{г}}^{\text{тр}} = 3,14 \cdot 0,004^2 / 4 = 1,257 \cdot 10^{-5}.$$

- 8) Загальна площа поперечного перерізу по газу,  $\text{м}^2$ :

$$f_{\text{г}} = f_{\text{г}}^{\text{mp}} \cdot N_{\text{г}}^{\text{заг}}, \quad (3.16)$$

$$f_{\text{г}} = 1,257 \cdot 10^{-5} \cdot 192 = 0,002413.$$

- 9) Приймаємо для пальника МГМП-9 стехіометричний коефіцієнт рівний 10,654. Об'ємна витрата повітря,  $\text{м}^3/\text{год}$

$$V_{\text{пов}}^{\text{mp}} = 10,654 \cdot V_{\text{г}}, \quad (3.17)$$

$$V_{\text{пов}}^{\text{тр}} = 10,654 \cdot 0,2847 = 3,033 \text{ м}^3/\text{с} = 10920.$$

- 10) Швидкість виходу повітря з пальника,  $\text{м}/\text{с}$ :

$$W_{\text{пов}}^{\text{mp}} = \frac{V_{\text{пов}}}{f_{\text{пов}}^{\text{mp}'}}, \quad (3.18)$$

$$W_{\text{пов}}^{\text{тр}} = 3,033 / 0,09186 = 33,02.$$

- 11) Швидкість виходу газу з отвору підводу,  $\text{м}/\text{с}$ :

$$W_{\text{г}}^{\text{mp}} = \frac{V_{\text{г}}}{f_{\text{г}}}, \quad (3.19)$$

$$W_{\text{г}}^{\text{тр}} = 0,2847 / 0,002413 = 118.$$

У результаті проведених розрахунків визначені загальні характеристики пальника МГМП-9 без підводу мазутної форсунки, які наведені у таблиці 3.5 .

Таблиця 3.5 - Загальні характеристики штатного пальника РГМГ-9 та пальника МГМП-9

Найменування параметра	Значення величини		
	для штатного пальника РГМГ-9	для пальника МГМП-9	Зміна величини, %
Витрата газу, м <sup>3</sup> /год	1025	1025	0
Витрата повітря, м <sup>3</sup> /год	13900	10920	-21
Коефіцієнт надлишку повітря	1,4	1,1	-21
Діаметр амбразури пальника, мм	449	500	+11
Площа поперечного перерізу по повітрю (з врахуванням мазутної форсунки), м <sup>2</sup>	0,10975	0,09186	-16
Площа поперечного перерізу по газу, м <sup>2</sup>	0,002349	0,002413	+3
Швидкість виходу повітря з пальника, м/с	35,18	33,02	-6
Швидкість виходу газу з отвору підводу газу, м/с	121,2	118,0	-3
Діаметр мазутної форсунки, мм	76	—	—
Трубки по повітрю, мм	—	40x1	—
Кількість отворів по повітрю	—	81	—
Кількість отворів по газу	—	192	—

Таблиця 3.6 - Розрахунок повного горіння газоподібного палива

Компонент	$\text{м}^3_{\text{н}} \text{ в } 100 \text{ м}^3_{\text{н}}$	Реакція горіння	Повітря, $\text{м}^3_{\text{н}}/100 \text{ м}^3_{\text{н}}$			Продукти горіння, $\text{м}^3_{\text{н}}/100 \text{ м}^3_{\text{н}}$				
			O <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	V <sub>пов.</sub>	RO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	V <sub>пр.гор.</sub>
CH <sub>4</sub>	97,995	CH <sub>4</sub> + 2 O <sub>2</sub> = CO <sub>2</sub> + 2 H <sub>2</sub> O	195,99	736,922	932,912	97,995	—	736,922	195,990	1030,91
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	0,772	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> + 3,5 O <sub>2</sub> = 2 CO <sub>2</sub> + 3 H <sub>2</sub> O	2,702	10,160	12,862	1,544	—	10,160	2,316	14,02
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	0,261	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> + 5 O <sub>2</sub> = 3 CO <sub>2</sub> + 4 H <sub>2</sub> O	1,305	4,907	6,212	0,783	—	4,907	1,044	6,734
C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	0,093	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> + 6,5 O <sub>2</sub> = 4CO <sub>2</sub> + 5H <sub>2</sub> O	0,605	2,273	2,878	0,372	—	2,273	0,465	3,11
C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	0,019	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub> + 8 O <sub>2</sub> = 5 CO <sub>2</sub> + 6 H <sub>2</sub> O	0,152	0,572	0,724	0,095	—	0,572	0,114	0,781
C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	0,025	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub> + 9,5 O <sub>2</sub> = 6CO <sub>2</sub> + 7H <sub>2</sub> O	0,238	0,893	1,131	0,150	—	0,893	0,175	1,218
N <sub>2</sub>	0,763	—	—	—	—	—	—	0,763	—	0,763
CO <sub>2</sub>	0,059	—	—	—	—	0,059	—	—	—	0,059
O <sub>2</sub>	0,013	—	—0,013	—0,049	—0,062	—	—	—0,049	—	—0,049
100 $\text{м}^3_{\text{н}}$		$\alpha = 1,0$ ; повітря сухе	200,979	755,678	956,657	100,998	0	756,441	200,104	1057,54
$\varepsilon' = \frac{B \cdot d_B}{804} = 11,899 \frac{\text{м}^3}{100 \text{м}^3_{\text{н}}}$ $\varepsilon'' = \frac{\alpha \cdot B \cdot d_B}{804} = 13,089 \frac{\text{м}^3}{100 \text{м}^3_{\text{н}}}$ $\varepsilon''' = \frac{\alpha \cdot B \cdot d_B}{804} = 16,658 \frac{\text{м}^3}{100 \text{м}^3_{\text{н}}}$		$\alpha = 1,0$ ; повітря вологе	200,979	755,678	968,556	100,998	0	756,441	212,003	1069,442
		$\alpha = 1,1$ ; повітря сухе	221,077	831,246	1052,323	100,998	20,098	832,009	200,104	1153,209
		$\alpha = 1,1$ ; повітря вологе	221,077	831,246	1065,412	100,998	20,098	832,009	213,193	1166,298
		$\alpha = 1,4$ ; повітря сухе	281,371	1057,949	1339,320	100,998	80,392	1058,712	200,104	1440,206
		$\alpha = 1,4$ ; повітря вологе	281,371	1057,949	1355,978	100,998	80,392	1058,712	216,762	1456,864

### 3.4.3 Опис та принцип дії пальника МГМП-9

#### а) Загальні паспортні дані пальника МГМП-9

Тип пальника - газо-мазутний

Розрахунковий надлишковий тиск палива у пальнику:

- природний газ, МПа:	- максимальний - 0,02;
	- робочий - 0,015
- мазут не нижче, МПа:	- максимальний - 2,0
	- робочий - 1,45.

Витрата палив на пальник:

- природний газ, $\text{м}^3/\text{год}$ :	- максимальна - 1500;
	- робоча - 1265;
- на мазуті, т/год: -1,115.	

Витрата повітря через пальник, $\text{м}^3/\text{год}$ :	- мінімальна - 25;
	- максимальна - 20000.

Теплова потужність пальника МВт (Гкал/год):	- на газу, 10,65 (9,15)
	- на мазуті 15,0 (12,9)

Діаметр пальника, мм: - 468 мм

Вага: - 56 кг.

#### б) Опис та принцип дії пальника МГМП-9

Мікрофакельний газо-мазутний пальник типу МГМП-9 призначений для установки та роботи на пікових водогрійних котлах марки ПТВМ-180. Конструктивно пальник встановлюється в існуючу амбразуру котла (рисунок 3.12). Пальник підключається до існуючих газових, мазутних та повітряних магістралей без порушення існуючої структури котла.



Рисунок 3.12 - Загальний вигляд мікрофакельного газо-мазутного пальника МГМП-9

Газова частина складається з газопідводячої і газорозподільчої частини. До першої з них відносять газопровід низького тиску, приєднаний у нижній частині пальника зварюванням. Розподільча частина складається з газового колектора та газових трубок, через які відбувається підведення газу до робочої частини пальника. Газ потрапляє в зону горіння з робочої зони пальника через газові отвори у передній (фронтальній) трубній дошці пальника, яка направлена у топку котла через амбразуру в його стінці.

В пальнику також встановлені повітряні трубки діаметром 36/40мм, через які повітря з повітряного короба попадає в зону горіння. Всередині газової частини пальника знаходиться головна повітряна труба діаметром 63/67 мм для введення мазутної форсунки, яка щільно вставлена у передню (фронтальну) та задню трубну дошку паралельно повітряним трубкам й через яку подається первинне повітря на мазутну форсунку. Вторинне повітря для мазуту подається через периферійні повітряні трубки, які концентрично розташовані навколо центральної головної повітряної труби.

На котлі, який працює у навантаженому режимі, при відключеній подачі палива на мікрофакельний газо-мазутний пальник МГМП-9 (не працюючий пальник), повітряний шибер подачі повітря на пальник повинен бути прикритим не більше ніж на 90% при не працюючому вентиляторі.

Таблиця 3.7 - Основні повітряно-аеродинамічні характеристики мікрофакельного газо-мазутного пальника МГМП-9

Найменування характеристики	Значення
Площа поперечного перерізу патрубку повітря, м <sup>2</sup>	0,2148
Витрата повітря в патрубку повітря, м <sup>3</sup> /год	10920
Швидкість повітря в патрубку первинного повітря, м/с	17,43
Аеродинамічний опір пальника, Па	100

Пальник МГМП-9 встановлено у амбразуру котла ПТВМ-180 у відповідності до розробленої схеми ( рисунок 3.13 )

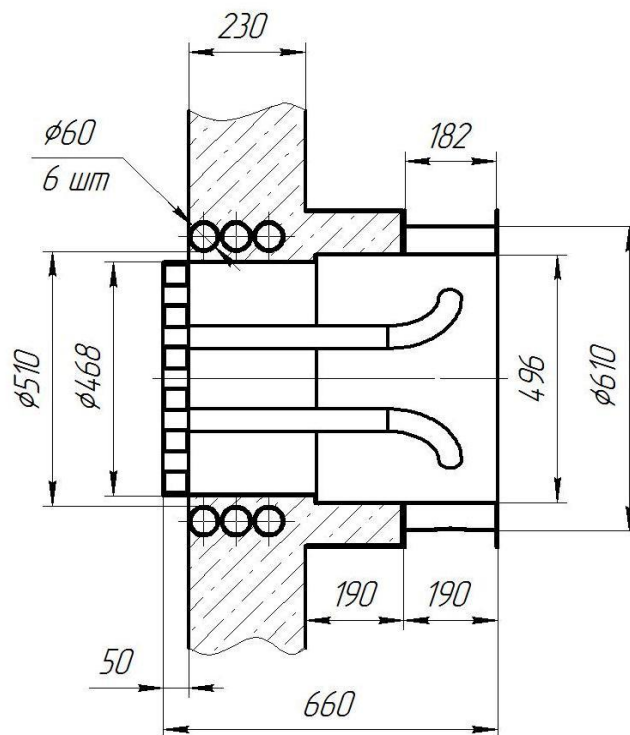


Рисунок 3.13 - Схема встановлення пальника МГМП-9 у амбразуру котла на місце штатного пальника РГМГ-9 . Повздовжній переріз пальника.

Загальні дані та характеристики пальника МГМП-9 наведено у таблиці 3.8

Таблиця 3.8 - Геометричні характеристики мікрофакельного газо-мазутного пальника МГМП-9 для котла ПТВМ-180 ст. №2 ТЕЦ-5

Параметр	Одиниця	Значення параметру	Примітки
Діаметр отворів по повітрю	мм	36	
Кількість отворів по повітрю			
-загальна	шт.	81	
-цілих		69	
-нецілих		12	
Площа поперечного перерізу по повітрю	м <sup>2</sup>	0,087	
Діаметр отворів по газу:			
-дифузійних	мм	3,5	
-кінетичних	мм	2,0	
Кількість отворів по газу:			
- дифузійних	шт	148	
- кінетичних	шт	276	
Площа поперечного перерізу по газу	м <sup>2</sup>	0,002	
Діаметр центральної повітряної труби для встановлення мазутної форсунки	мм	63/67	

Таблиця. 3.9 - Паспортні дані та характеристики роботи мікрофакельного газо-мазутного пальника МГМП-9 для котла ПТВМ-180

Параметр	Одиниця	Значення параметру	Примітки
Площа поперечного перерізу по повітрю	м <sup>2</sup>	0,08846	
Швидкість виходу повітря з отворів підводу	м/с	37	
Об'ємна витрата повітря	м <sup>3</sup> /год	10920	
Тиск повітря на пальник	Па	90	
Площа поперечного перерізу по газу	м <sup>2</sup>	0,002	
Швидкість виходу газу з отвору підводу	м/с	96,8	
Об'ємна витрата газу на пальник (у номінальному режимі)	м <sup>3</sup> /год	1265	
Тиск газу на пальник	МПа	0,015	
Тиск газу на котел	МПа	0,02	
Тиск мазуту (не нижче)	МПа	1,45	
Витрата мазуту	т/год	1,115	
Надлишок повітря	—	1,04	
Теплова потужність пальника:  - природному газі;  - на мазуті	МВт(Гкал/год)	10,65(9,15)  15,0 (12,9)	
Коефіцієнт робочого регулювання по тепловій потужності	—	1,99	



### 3.5 Висновки з розділу 3

У цьому розділі досліджено загальні та конструктивні властивості пальника МГМП-9.

З метою проведення модернізації штатної пальникової системи котла ПТВМ-180 запропоновано використати мікрофакельні пальники типу МГМП-9, що розроблені в НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського».

Розрахувала аеродинамічний опір пальника МГМП-9 дорівнює  $100 \text{ кгс/м}^2$  (розрахунок) та  $108 \text{ кгс/м}^2$  (моделювання), а аеродинамічний опір штатного пальника РГМГ-9 дорівнює  $109 \text{ кгс/м}^2$  (розрахунок) та  $118 \text{ кгс/м}^2$  (моделювання).

Порівняння аналогічних та основних характеристик штатного пальника РГМГ-9 та пальника МГМП-9 дає можливість визначити основні особливості, що пальника МГМП-9 має місце найменший аеродинамічний опір та найбільш рівномірний розподіл повітря по повітряним трубкам; пальник МГМП-9 має місце більш якісне сумішоутворення, що створює умови для більш рівномірного розподілу температур по об'єму топки котла з одночасним збільшенням терміну їх експлуатації та підвищення ККД котла. Крім того, відсутні локальні зони утворення оксидів азоту ( $\text{NO}_x$ ).

Основні параметри та принцип дії пальникової системи для котла ПТВМ-180 показано що пальник МГМП-9 простий у проектуванні та виробництві має незначну вагу на рівні 56 кг (штатний важить більше 150 кг), легко монтується на місце штатного пальника РГМГ-9 у ту ж саму амбразуру, що дозволяє не змінювати конфігурацію поверхонь нагріву у топці котла, не потребує спеціального обслуговування.

Вищевказані переваги дозволяють стверджувати, що розроблена мікрофакельна технологія повною мірою задовольняє сучасним світовим вимогам по ефективності і екологічній безпеці і може бути реалізована в паливних системах широкого призначення.

## 4 ВИПРОБУВАННЯ ГАЗО-МАЗУТНОГО ПАЛЬНИКА МГМП-9 У КОТЛІ

### 4.1 Програма випробувань

Випробування потрібно здійснювати у робочий час з 9<sup>00</sup> до 17<sup>00</sup> на котлі ПТВМ-180 ст. №2 Київської ТЕЦ-5.

#### 4.1.1 Вступ

Постійне зростання вартості енергетичних ресурсів, підвищення вимог чинного законодавства щодо екологічності експлуатації та вартості сплати за викиди шкідливих речовин в навколишнє середовище, особливості здійснення обслуговування та необхідність подовження моторесурсу змушують здійснювати відповідні заходи щодо підвищення рівня енергозаощадження та мінімізації рівня шкідливих викидів у атмосферне повітря при експлуатації паливовикористовуючого обладнання.

Вирішити проблему підвищення ефективності й економічності виробництва теплової енергії з мінімальними витратами дозволить модернізація паливкової системи котлоагрегату ПТВМ-180 ст. №2 ТЕЦ-5 за рахунок маловитратних, економічних та ефективних технологій. Мікрофакельна технологія газоспалювання, що розроблена науковцями КПП ім. Ігоря Сікорського та захищена патентами у 9 країнах, використовується для цих цілей. На її основі розроблені, виготовлені й застосовуються у котлах мікрофакельні паливові пристрої. Особливістю даних паливників є можливість застосування різних видів палива.

Дана Програма передбачає проведення випробувань газо-мазутного паливника типу МГМП-9 у складі котла ПТВМ-180 ст. №2 з метою визначення його техніко-теплових та аеродинамічних особливостей під час роботи котла.

#### 4.1.2 Мета роботи:

Визначення аеродинамічних, сумішоутворювальних та експлуатаційних характеристик газо-мазутного паливника типу МГМП-9 у складі котлоагрегату ПТВМ-180 ст. №2.

#### 4.1.3 Умови проведення випробувань

а) Випробування проводяться на природному газі та мазуті окремо. Застосування в паливнику одночасно при його роботі двох палив суворо забороняється.

б) Перед початком випробувань ознайомити персонал з даною програмою під підпис.

в) Перед проведенням випробувань проводиться огляд котла та перевірка дієздатності ЗЗУ сусіднього розпалювального паливника.

г) Випробування проводяться з використанням штатних приладів теплотехнічного контролю, попередньо перевірених персоналом ЦТАВ ТЕЦ-5.

д) Під час проведення випробувань фіксуються наступні параметри (по штатним приладам):

- розрідження в топці;
- температура та тиск мережної води на вході в котел;
- температура та тиск мережної води на виході з котла;
- витрата мережної води;
- тиск газу за РК;
- витрати газу та мазуту;
- температура відхідних газів;
- тиск повітря перед пальниками;
- тиск газу (мазуту) на кожний пальник.

е) Додатково можуть бути виконані заміри:

- вміст кисню в продуктах згоряння  $O_2$  (за допомогою газоаналізатора ОКСИ-5М);
- коефіцієнт надлишку повітря (за допомогою газоаналізатора ОКСИ-5М);
- концентрація оксиду вуглецю  $CO$  (за допомогою газоаналізатора ОКСИ-5М);
- концентрація оксидів азоту  $NO_x$  (за допомогою газоаналізатора ОКСИ-5М);
- барометричний тиск;
- температура зовнішнього повітря;
- діапазон  $T^0$  повітря для роботи пальника з заявленими характеристиками).
- вологість зовнішнього повітря;
- температура газів, факела та пальників (за допомогою пірометра).

ж) Розрахунок основних параметрів роботи котлоагрегату проводяться за методиками ЛьвівОРГРЕС і інституту Газу НАН України

#### 4.1.4 Послідовність випробувань

Випробування відбуваються у два етапи:

- 1-ий етап- робота пальника на природному газі;
- 2-ий етап-робота пальника на мазуті.

а ) Розпалення котла виконується під керівництвом начальника КТЦ5.

б) Дослідження відбуваються на базі газо-мазутного пальника №17 типу МГМП-9 у складі котла ПТВМ-180 ст. №2.

в) Виконати підготовку котла до розпалення на природному газі згідно інструкції з експлуатації котла ПТВМ-180.

г) Отримати дозвіл від НЗС5 на розпалення котла.

д) Перший етап випробувань-робота на природному газі:

- 1) Провести інструктаж персоналу, що бере участь у випробуваннях про порядок

розпалення пальників котла на природному газі і заходах безпеки при цьому з записом в оперативний журнал.

Відповідальний НЗЦ

2) Здійснити розпал розтопковогогазового пальника ГПТТ-9р. №15 з метою подальшого запалювання своїм факелом мікрофакельного газо-мазутного пальника типу МГМП-9 у складі котла ПТВМ-180 ст. №2.

Відповідальний НЗЦ

3) Виконати подачу повітря та природного газу на газо-мазутний пальник типу МГМП-9 №17 для розпалу даного пальника від сусіднього розтопкового пальника ГПТТ-9р. №15. Розпалити МГМП-9 №17. Переконатись у стійкості горіння пальника.

Відповідальний НЗЦ

4) Погасити пальник ГПТТ-9р. №15.

Відповідальний СМЦ

5) Випробування газо-мазутного пальника типу МГМП-9 №17 здійснити при робочих (паспортних) значеннях тиску  $P_{\text{пов}}$  та витрати  $V_{\text{пов}}$  повітря та передбачають визначення критичних (мінімальних та максимальних) значень тиску газу на пальник за рахунок зміни тиску природного газу  $P_r$  спочатку до мінімально можливого  $P_r^{\min}$ , а потім до максимально можливого  $P_r^{\max}$ , з фіксацією довжини та стійкості факелу.

Відповідальний НЗЦ

Робочий тиск газу для газо-мазутного пальника типу МГМП-9 у складі котла ПТВМ-180 повинен бути у межах  $P_r = 0,12 \dots 0,15 \text{ кгс/см}^2$ .

Після визначення критичних значень  $P_r^{\min}$  та  $P_r^{\max}$  газо-мазутного пальника типу МГМП-9 у складі котла ПТВМ-180 переходять до випробувань пальника на мазутному паливі.

ж) Другий етап випробувань-робота на мазуті:

Другий етап випробувань газо-мазутного пальника типу МГМП-9 присвячено визначенню характеристик роботи на резервному паливі –мазут.

Даний етап випробувань передбачає визначення основних аеродинамічних, теплотехнічних, техніко-економічних та еколого-технічних характеристик роботи газо-мазутного пальника типу МГМП-9 у складі котла ПТВМ-180.

1) Підготувати до роботи мазутне кільце котла ПТВМ-180 ст. №2.

Відповідальний СМЦ

2) Здійснити розпалення всіх розпалювальних газових пальників ГПТТ-9р. та вийти на мінімальне навантаження котла ПТВМ-2.

Відповідальний НЗЦ

3) Здійснити подачу повітря на газо-мазутний пальник типу МГМП-9 для розпалу даного пальника на мазуті від сусіднього розтопкового пальника ГПТТ-9р. №15.

Відповідальний НЗЦ

4) Подати мазут на газо-мазутний пальник типу МГМП-9 №17.

Відповідальний СМЦ

5) Випробування газо-мазутного пальника типу МГМП-9 на мазуті здійснити при робочих (паспортних) значеннях тиску мазуту 1,45 МПа у відповідності до інструкції з експлуатації мазутної форсунки штатного типу котла ПТВМ-180 ст. №2.

Примітка: Необхідно добитися повного згоряння мазуту. Контроль виконувати через лючки, топка повинна просвічуватися без затягування факела в конвективну частину. При затягуванні факелу оглянути роботу форсунок і нормальне розпилювання мазуту в них.

#### 4.1.5 Керівник розпалювання – начальник КТЦ5

#### 4.1.6 Вимоги правил охорони праці.

- Під час розпалення на котліні повинні проводитись будь-які інші роботи.
- Не допускається подача палива у непрацюючу топку котла.
- При виникненні аварійної ситуації проведення робіт за даною програмою припиняється. Оперативний персонал відновлює нормальний режим роботи обладнання.
- Гасити запальні пристрої працюючих пальників дозволяється після того, як горіння у топці стане стійким.
- У випадку повного обриву факелу в топці подача палива до котла повинна бути негайно припинена і вимкнені запальники.
- Повторне розпалювання дозволяється після з'ясування причини погасання та вентиляції топки котла не менше 15 хвилин.
- Факел при роботі мазутної форсунки повинен бути солом'яного кольору, бездимний, стійкий, без темних полос та «зірочок», що світяться.

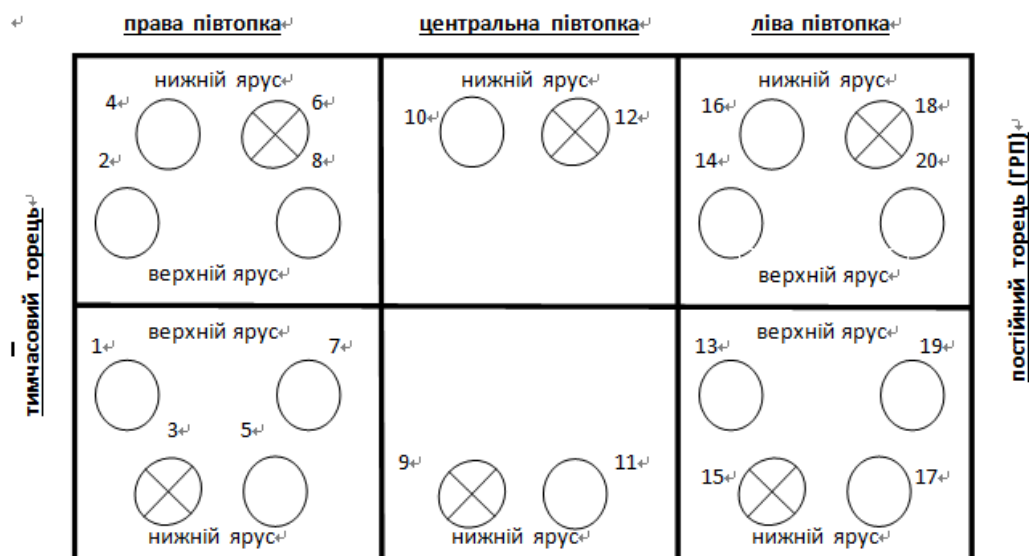
#### 4.1.7 Висновки

- Після закінчення випробувань складається протокол попередніх випробувань газо-мазутного пальника типу МГМП-9 та роботи котла ПТВМ-180 ст. №2 на цьому пальнику.

- Протокол попередніх випробувань газо-мазутного пальника типу МГМП-9 у складі котла ПТВМ-180 ст. №2 підписується представниками ТЕЦ-5.

## 4.2 Алгоритм та порядок проведення випробувань

Пальникова система котла ПТВМ-180 складається з 20 пальників ( рисунок 4.1 ), 11 з яких є мікрофакельними газовим пальниками типу МГП-9 та з одного мікрофакельного газо-мазутного пальника типу МГМП-9, який встановлено у нижньому ярусі лівої півтопки за номером 17 поряд з пальниками розтопочного типу № 15.



3,6,9,12,15,18 – розпалюючі пальники мікрофакельного типу;

4,5,10,11, 16 - робочі пальники мікрофакельного типу;

1,2,7,8,13,14,19,20 – пальники штатного типу

17- мікрофакельний газо-мазутний пальник типу МГМП-9

Рисунок 4.1 - Схема розміщення пальників котла ПТВМ-180

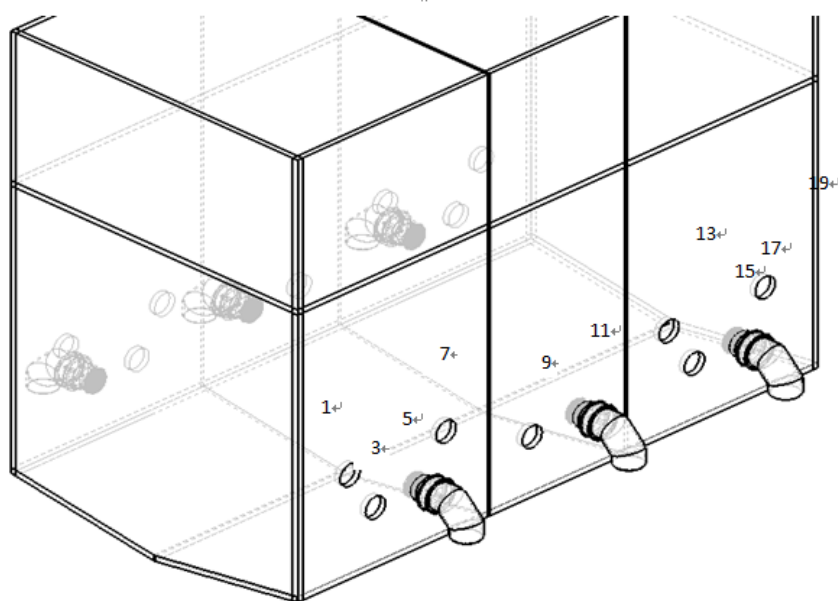


Рисунок 4.2 - Схема встановлення мікрофакельного газо-мазутного пальника типу МГМП-9 (котельний № 17) на загальному вигляді котла ПТВМ-180 ст.№ 2

Запалювання пальника МГМП-9 здійснюється від пальника розтопочного типу МГМП-9 (котельний номер № 15).



Рисунок 4.3 - Загальний вид пальника МГМП-9 у амбразурі котла ПТВМ-180 з боку топки

#### 4.3 Основні результати випробувань

Випробування мікрофакельного газомазутного пальника типу МГМП-9 котла ПТВМ-180 здійснено з метою визначення основних його аеродинамічних, вогневих та спалювальних характеристик у складі котельного агрегату ПТВМ-180 ст.№2 в робочому режимі навантаження.

Випробування здійснювалось у відповідності до затвердженої програми із забезпеченням дотримання вимог техніки безпеки та пожежної охорони. За результатами випробувань отримані значення фактичних величин, що характеризують процес запалення пальника, його навантаження та зміну режиму експлуатації. Основні дані у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 - Середні значення заміряних та розрахованих величин при випробуванні роботи котла ПТВМ-180 з мікрофакельним газо-мазутним пальником (котельний №17)

Найменування величин	Позначення	Розмірність	Значення при роботі		
			На газі	На мазуті	
<i>I</i>	2	3	4	5	6
I ПАЛИВО Газ, Мазут				1 реж	2 реж
Витрата палива на котел (на газу- г; на мазуті-м)	$V_2$ $m_m$	м <sup>3</sup> /год, т/год,	г=7500 м=-0,0	г=7500 м=1,115	г=7500 м=0,85
Кількість працюючих пальників (на газу- г; на мазуті-м)	<i>n</i>	шт.	7г (№5,6,9,12, 15,18,17)	6г+1м	6г+1м
Тиск палива за РК (на котел): Газу Мазуту -	$P_2$ $P_m$	кг/см <sup>2</sup>	0,2 0,0	0,2 20,0	0,2 15,0

Продовження таблиці 4.1

1	2	3	4	5	6
II МЕРЕЖНА ВОДА					
Витрата мережної води через котел	$D_{м.в.}$	т/год	3850	3850	3580
Температура м.в. на вході в котел	$T'_{м.в.}$	°C	47,0	47,0	47,0
Температура м.в. на виході з котла	$T''_{м.в.}$	°C	60,0	60,0	60,0
III ПОВІТРЯ І ДИМОВІ ГАЗИ					
Температура зовнішнього повітря	$T_{zn}$	°C	3,0	3,0	3,0
Температура холодного повітря	$T_{xn}$	°C	5,0	5,0	5,0
Розрідження зверху топки котла	$S_m$	кг/м <sup>2</sup>	5,0	5,0	5,0
Температура відхідних газів	$T_{вг}$	°C	65	65	63
IV ГАЗОВИЙ АНАЛІЗ					
RO <sub>2</sub> в відхідних газах	$RO_2''$	%	10,8	7,9	7,0
O <sub>2</sub> в відхідних газах	$O_2''$	%	10	9,8	4,6
CO в відхідних газах	$CO''$	мг/м <sup>3</sup>	4,0	0,0	0,0
Надлишок повітря в відхідних газах	$a_{вг}$	-	1,28	1,28	1,28
NO <sub>x</sub> в відхідних газах (у перерахунку на a=1,0)	$NO_x$	мг/м <sup>3</sup>	67	124	223
Кількість вентиляторів на піддув	$N$	шт.	4 (№5,10,11,16)	4 (№5,10,11,16)	4 (№5,10,11,16)
Теплонавантаження котла	$Q_k$	Гкал/год	51,0	51,0	48,0

Проведення замірів під час роботи котла та отримані дані дозволяють здійснити теплові та екологічні розрахунки техніко-екологічних показників роботи котла ПТВМ-180 на різних режимах експлуатації із роботою пальника МГМП-9 у режимах використання двох видів палива: робота на природному газі (режим-робота на газу) та при роботі на мазуті (режими 1 та 2 - робота на мазуті).

За підсумками випробувань котла ПТВМ-180 ст. №2 ТЕЦ-5 з мікрофакельним газо-мазутним пальником типу МГМП-9 (котельний № 17) визначено основні характеристики котла з метою оцінки можливості подальшої експлуатації його на котлі.

Після завершення випробувань було здійснено огляд пальникового пристрою типу МГМП-9



(котельний № 17) з топки котла ( рисунок 4.4 ) , під час якого не виявлено будь-яких відхилень від нормального зовнішнього вигляду робочих поверхонь та вузлів мікрофакельного газо-мазутного пальника типу МГМП-9.

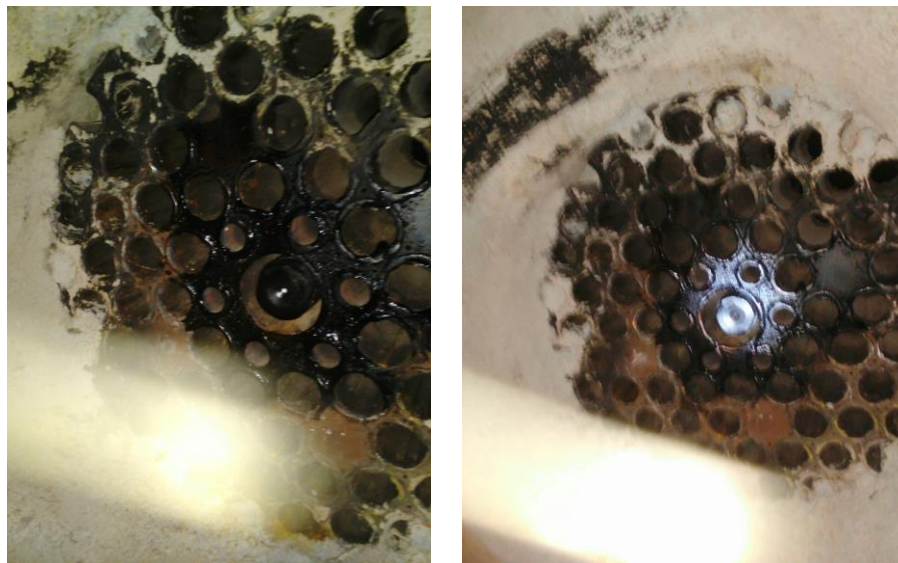


Рисунок 4.4 - Загальний вигляд робочої частини пальника типу МГМП-9 після випробувань

У центральній частині робочої фронтальної поверхні пальника виявлено сліди мазуту, що свідчить про необхідність висунення робочої мазутної форсунки в сторону топки на 50-70 мм з метою нейтралізації дії вихорів повітряно-мазутної суміші у пристінній зоні спалювання палива. Одночасно з цим доцільно додати направляючі пластини (проволоченого типу) для більш чіткого центрування мазутної розпилюючої форсунки у центральному отворі пальника.

За результатами випробувань мікрофакельного газо-мазутного пальника типу МГМП-9 визначені значення величин, що характеризують теплову потужність та експлуатаційні характеристики роботи котла ПТВМ-180.

Стійке горіння пальника МГМП-9 визначено у діапазоні надлишкового тиску природного газу від  $P_{\min} = 0,02 \text{ кг/см}^2$  до  $P_{\max} = 0,20 \text{ кг/см}^2$ , що відповідає тепловій потужності від  $Q_{\min} = 1,5 \text{ Гкал/год}$  до  $Q_{\max} = 13,5 \text{ Гкал/год}$ .

При роботі пальника МГМП-9 на мазуті зафіксована стійка його робота у діапазоні надлишкового тиску мазуту від  $P_{\min} = 10,0 \text{ кг/см}^2$  до  $P_{\max} = 20,0 \text{ кг/см}^2$ , що відповідає тепловій потужності від  $Q_{\min} = 6,0 \text{ Гкал/год}$  до  $Q_{\max} = 12,9 \text{ Гкал/год}$ .

Дані результати доводять доцільність використання мікрофакельного газо-мазутного пальника типу МГМП-9 у котлі ПТВМ-180 на різних режимах його навантаження та дають об'єктивну доцільність та можливість здійснити швидко термінову (заміна одного пальника становить до 8 годин) заміну усіх штатних пальників на мікрофакельні типу МГМП-9.

В результаті проведення випробувань котла із штатними та мікрофакельними пальниками на природному газі ознайомлення з технічною документацією та існуючою схемою контролю та регулювання режиму роботи пальникового пристрою були визначені конструктивні особливості котлоагрегату ПТВМ-180 ст.№2 філіалу «ТЕЦ-5».

В результаті проведених розрахунків та моделювання аеродинамічних процесів отримані наступні дані:

- Для реалізації модернізації пальникової системи котла не потребується зміна конструкції котла та топкової камери.

- Не змінюється схема та подача природного газу.

- Не змінюється схема подачі повітря.

- Без змін залишаються системи підводу палива та повітря до пальникової системи.

- Аеродинамічний опір пальникової системи у порівнянні зі штатною зменшується на 10%.

- Модернізація пальникової системи не потребує конструктивних змін котла та топкової камери, а також капіталовкладень для здійснення заходів щодо покращення техніко-економічних та екологічних показників експлуатації котла.

- За рахунок модернізації пальникової системи з використанням трубчастої технології газоспалювання можливо досягти суттєвого зниження концентрації і валових викидів шкідливих речовин.

- Модернізація дозволяє досягти рівномірного температурного поля у топковій камері, що дозволяє усунути локальні перегріви конвективних труб котла, досягти рівномірного нагріву екранних труб, що збільшить їх ресурс, та підвищити ККД котла.

Була розроблена методика випробувань на котельній установці.

В результаті проведених робіт на котлоагрегаті ПТВМ-180 ст.№2 філіалу «ТЕЦ-5» замість пальникових пристроїв штатного типу № 4, 5, 10, 11, 16, 17 було встановлено пальникові пристрої МГП-9. По повітряному тракту між повітропроводами та пальниковими пристроями було встановлено стабілізатор типу № 2, завдяки чому зменшується витрата повітря на пальник та складає 11696 м<sup>3</sup>/год, а поле швидкостей повітря на виході з пальника стає більш рівномірним.

При тиску газу на котел 0,2 кгс/см<sup>2</sup> тиск газу на пальник складає 0,14 кгс/см<sup>2</sup>, а витрата газу при цьому дорівнює 1150 м<sup>3</sup>/год, що забезпечує потужність одного пальникового пристрою 9 Гкал/год.

Таким чином, вдалось досягти такої потужності пальникового пристрою МГП-9, що при встановленні 20 таких пальникових пристроїв потужність котла складатиме 180 Гкал/год. Коефіцієнт надлишку повітря при цьому складає 1,05. Тобто втрати теплоти з відхідними газами будуть мінімальними.

В результаті визначення регульованих можливостей пальникового пристрою, був встановлений широкий діапазон тисків газу на пальник, які підтримуються при роботі котлоагрегату, а саме  $0,11 \div 0,15$  кгс/см<sup>2</sup>, при яких пальник МГМП-9 працює стабільно. Факел починається на відстані  $3 \div 5$  см від фронтальної трубної дошки пальника, а його довжина коливається у діапазоні  $\frac{1}{2} \div \frac{3}{4}$  ширини топки, колір факелу блакитний. Охолоджені до температури  $510 \div 730^\circ\text{C}$  продукти згорання продовжують свій рух вздовж горизонтальної вісі до протилежної фронтальної стінки та вздовж екранних труб котлоагрегату піднімаються вгору.

#### 4.4 Висновки з розділу 4

У розділі 4 випробувала газо-мазутного пальника МГМП-9 у котлі. Випробування здійснювались у робочий час з 9:00 до 17:00 на котлі ПТВМ-180 станція №2 Київської ТЕЦ-5 з метою визначення його техніко-теплових та аеродинамічних особливостей під час роботи котла, і визначила аеродинамічних, сумішоутворювальних та експлуатаційних характеристик газо-мазутного пальника типу МГМП-9 у складі котлоагрегату ПТВМ-180 станція №2.

За результатами випробувань отримані значення фактичних величин, що характеризують процес запалення пальника, його навантаження та зміну режиму експлуатації. Основні дані у таблиці 4.1.

Після завершення випробувань було здійснено огляд пальникового пристрою типу МГМП-9 (котельний № 17) з топки котла, під час якого не виявлено будь-яких відхилень від нормального зовнішнього вигляду робочих поверхонь та вузлів мікрофакельного газо-мазутного пальника типу МГМП-9.

Дані результати доводять доцільність використання мікрофакельного газо-мазутного пальника типу МГМП-9 у котлі ПТВМ-180 на різних режимах його навантаження та дають об'єктивну доцільність та можливість здійснити швидко термінову (заміна одного пальника становить до 8 годин) заміну усіх штатних пальників на мікро-факельні типу МГМП-9.

## 5 НАЛАШТУВАННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ГАЗО-МАЗУТНОГО ПАЛЬНИКА У КОТЛІ

### 5.1 Визначення регульованих можливостей пальникового пристрою

В результаті попередніх досліджень з'ясовано, що при тиску газу на котел  $0,2 \text{ кгс/см}^2$  тиск газу на пальник складає  $0,14 \div 0,15 \text{ кгс/см}^2$ . При цьому, об'ємна витрата газу на пальник складає  $1150 \text{ м}^3/\text{год}$ , об'ємна витрата повітря на пальник (при встановленому стабілізаторі типу №2) складає  $11696 \text{ м}^3/\text{год}$ , коефіцієнт надлишку повітря дорівнює 1,05, а теплова потужність пальника  $9 \text{ Гкал/год}$ .

Також було досліджено роботу пальникового пристрою МГМП-9 № 4 ПТВМ-180 ст. №2 філіалу «ТЕЦ-5» в діапазоні значень тисків газу на пальник  $0,07 \div 0,18 \text{ кгс/см}^2$ .

**Дослід №1.** Тиск газу на пальник складав  $0,18 \text{ кгс/см}^2$ . Факел бив до протилежної стінки. Помітних змін у кольорі екранних труб не зафіксовано. Тобто перегрів екранних труб не наставав. Сумішоутворення рівномірне. Полум'я починається на відстані 5 см від фронтальної трубної дошки пальника. Пульсації полум'я відсутні. Охолоджені до температури  $760^\circ\text{C}$  продукти згорання вздовж екранних труб котлоагрегату піднімаються вгору.

**Дослід №2.** Тиск газу на пальник складав  $0,15 \text{ кгс/см}^2$ . Робота пальника стабільна, полум'я блакитне, пульсації полум'я відсутні. Помітних змін у кольорі екранних труб не зафіксовано. Тобто перегрів екранних труб не наставав. Полум'я починається на відстані 5 см від фронтальної трубної дошки пальника. Довжина факелу складала  $\frac{3}{4}$  ширини топки. Охолоджені до температури  $730^\circ\text{C}$  продукти згорання продовжують свій рух вздовж горизонтальної вісі до протилежної фронтальної стінки та вздовж екранних труб котлоагрегату піднімаються вгору.

**Дослід №3.** Тиск газу на пальник складав  $0,13 \text{ кгс/см}^2$ . Робота пальника стабільна, полум'я блакитне, пульсації полум'я відсутні. Помітних змін у кольорі екранних труб не зафіксовано. Тобто перегрів екранних труб не наставав. Полум'я починається на відстані 5 см від фронтальної трубної дошки пальника. Довжина факелу складала  $\frac{1}{2} \div \frac{3}{4}$  ширини топки. Охолоджені до температури  $700^\circ\text{C}$  продукти згорання продовжують свій рух вздовж горизонтальної вісі до протилежної фронтальної стінки та вздовж екранних труб котлоагрегату піднімаються вгору.

**Дослід №4.** Тиск газу на пальник складав  $0,11 \text{ кгс/см}^2$ . Робота пальника стабільна, полум'я блакитне, пульсації полум'я відсутні. Помітних змін у кольорі екранних труб не зафіксовано. Тобто перегрів екранних труб не наставав. Полум'я починається на відстані 3 см від фронтальної трубної дошки пальника. Довжина факелу складала  $\frac{1}{2}$  ширини топки. Охолоджені до температури  $510^\circ\text{C}$  продукти згорання продовжують свій рух вздовж горизонтальної вісі до протилежної фронтальної стінки та вздовж екранних труб котлоагрегату піднімаються вгору.

**Дослід №5.** Тиск газу на пальник складав  $0,08 \text{ кгс/см}^2$ . Робота пальника стабільна, полум'я блакитне, пульсації полум'я відсутні. Помітних змін у кольорі екранних труб не зафіксовано.

Тобто перегрів екранних труб не наставав. Полум'я починається на відстані 3 см від фронтальної трубної дошки пальника. Довжина факелу складала менше, ніж  $\frac{1}{2}$  ширини топки. Охолоджені до температури  $320^{\circ}\text{C}$  продукти згорання між центральною віссю топки котлоагрегату та протилежними екранними трубами котлоагрегату піднімаються вгору.

При експлуатації котлоагрегату ПТВМ-180 ст. №2 філіалу «ТЕЦ-5» підтримується тиск газу на котел  $0,15 \div 0,2 \text{ кгс/см}^2$ . Тиск газу на пальник при цьому складає  $0,11 \div 0,15 \text{ кгс/см}^2$ . Таким чином, з'ясовано, що в діапазоні тисків газу на пальник, які підтримуються при роботі котлоагрегату, а саме  $0,11 \div 0,15 \text{ кгс/см}^2$  пальник МГМП-9 працює стабільно, колір факелу блакитний. Факел починається на відстані  $3 \div 5$  см від фронтальної трубної дошки пальника, а його довжина коливається у діапазоні  $\frac{1}{2} \div \frac{3}{4}$  ширини топки. Охолоджені до температури  $510 \div 730^{\circ}\text{C}$  продукти згорання продовжують свій рух вздовж горизонтальної вісі до протилежної фронтальної стінки та вздовж екранних труб котлоагрегату піднімаються вгору.

## 5.2 Додаткові випробування

З метою визначення розпилюючих властивостей мазутної форсунки було проведено комплекс досліджень умов та характеристик (кут розпилу, масова витрата) розпилення мазуту з робочим тілом вода на дослідному стенді, на якому за аналогічним тиском подачі мазуту та при рівному значенні в'язкості ( рисунок 5.1 ).



Рисунок 5.1 – Форма та кут розпилу палива мазутною форсункою (досліди з водою)

За підсумками досліджень визначено оптимальні характеристики (кут розпилення  $82^{\circ}$ , тиск  $1.45 \text{ МПа}$  )

Окрім того, додатково також були проведені заміри значень швидкостей повітря на виході з пальникового пристрою МГМП-9 без стабілізатора ( рисунок 5.2 )

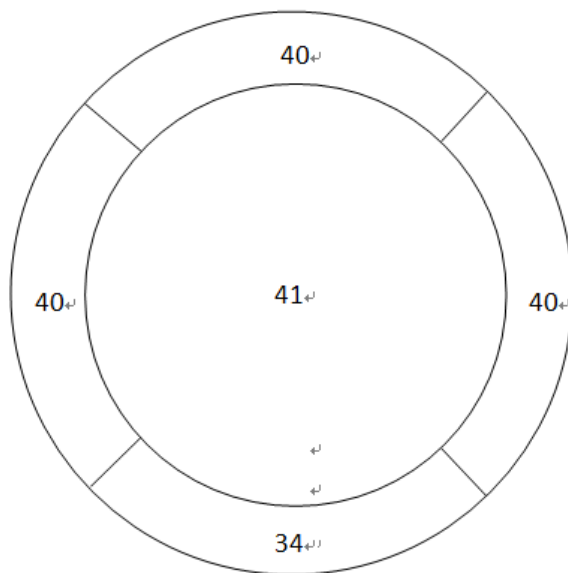


Рисунок 5.2 - Розподіл швидкостей повітря на виході з пальника МГМП-9 без стабілізатора

Таким чином, середня швидкість виходу повітря з пальника МГМП-9 без стабілізатора складає 40 м/с. Оскільки при отриманій середній швидкості повітря на виході з пальника ГПТТ-9, об'ємна витрата повітря складає 12737 м<sup>3</sup>/год, що більше за необхідну, то вирішено встановити стабілізатор типу №1.

Також були проведені заміри значень швидкостей повітря на виході з пальникового пристрою ГПТТ-9 при встановленому стабілізаторі типу №1 (рисунок 5.3)

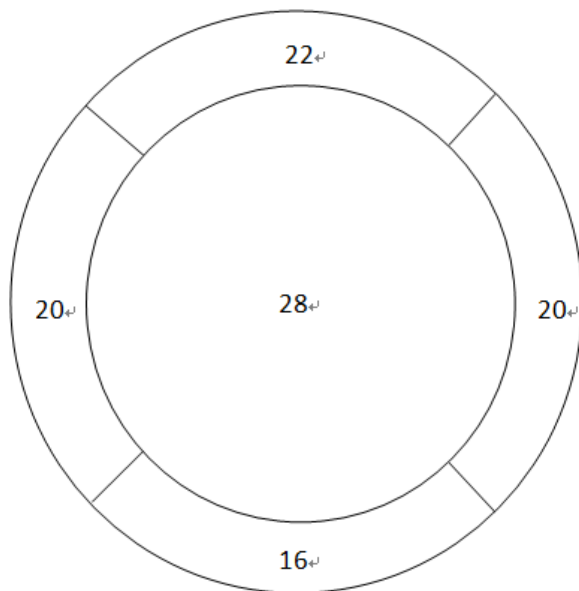


Рисунок 5.3 - Розподіл швидкостей повітря на виході з пальника трубчастого типу при встановленому стабілізаторі типу №1

Таким чином, середня швидкість виходу повітря з пальника МГМП-9 при встановленому стабілізаторі № 1 складає 26 м/с . В цьому випадку для пальника характерний нерівномірний розподіл повітря трубками його підводу. При отриманій середній швидкості повітря на виході з

пальника МГМП-9, об'ємна витрата повітря складає 8280 м<sup>3</sup>/год, що менше за необхідну. Це підтверджує необхідність встановлення стабілізатора типу №2.

Також були проведені заміри значень швидкостей повітря на виході з пальникового пристрою МГМП-9 при встановленому стабілізаторі типу №2 (рисунок 5.4)

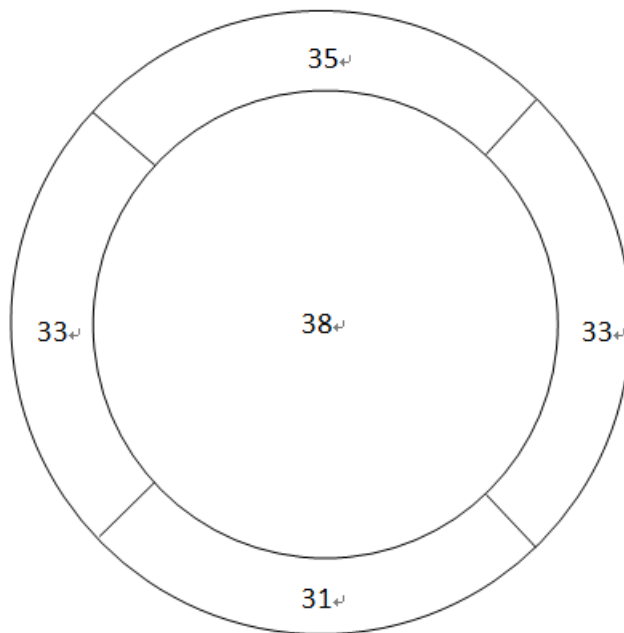


Рис. 5.4 - Розподіл швидкостей повітря на виході з пальника МГМП-9 при встановленому стабілізаторі типу №2

Таким чином, середня швидкість виходу повітря з пальника МГМП-9 при встановленому стабілізаторі №2 складає 37 м/с. В цьому випадку для пальника характерний рівномірний розподіл повітря трубками його підводу. При отриманій середній швидкості повітря на виході з пальника МГМП-9, об'ємна витрата повітря складає 11696 м<sup>3</sup>/год, що є необхідною та достатньою.

Таким чином, при встановленому стабілізаторі типу №2 досягається рівномірний розподіл повітря на виході з пальникового пристрою МГМП-9 та оптимальна об'ємна витрата повітря, необхідного для спалювання газу.

При проведенні додаткових випробувань з'ясовано, що при встановленому стабілізаторі типу №1 досягається рівномірний розподіл повітря на виході з пальникового пристрою МГМП-9 та оптимальна об'ємна витрата повітря, необхідного для спалювання газу.

Для цього випадку визначено основні характеристики мікрофакельного газо-мазутного пальника типу МГМП-9, які наведено у таблиці 5.1.

Отримані дані використанні для розробки технічних рішень щодо раціоналізації пальників з метою підвищення ККД котла та зниження викидів у навколишнє природне середовище.

Таблиця 5.1 - Основні характеристики мікрофакельного газо-мазутного пальника  
типу МГМП-9 котла ПТВМ-180 ст. №2,Київської ТЕЦ-5

Найменування показника	Позначення	Значення величини
Теплова потужність пальника, МВт (Гкал/год)	на газі на мазуті	10,65 (9,15) 15,0(12,9)
Витрата природного газу, $\text{м}^3 / \text{год}$ - максимальна - робоча	$B_{\Gamma}$	1500 1265
Витрата мазуту, т/год	$B_M$	1,115
Тиск газу на пальник, МПа - максимальний - робочий	$P_{\Gamma\P}$	0,02 0,015
Тиск газу на котел, МПа	$P_{\Gamma\kappa}$	0,02
Тиск мазуту (не нижче), МПа	$P_M$	1,45
Надлишок повітря	—	1,04
Температура повітря, $^{\circ}\text{C}$	$t_{\theta}$	50
Потужність електродвигуна вентилятора, $\text{кВт}$	$N_{\theta}$	10
Маса пальника, кг	$m_{\Pi}$	56

Для визначення основних аеродинамічних й розрахункових теплових характеристик мікрофакельного газо-мазутного пальника МГМП-9 було проведено випробування пальника МГМП-9 на котлі ПТВМ-180, дані яких зафіксовані у таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 - Дані замірів показників роботи пальника МГМП-9 на котлі ПТВМ-180

Параметр	Одиниця	Значення параметру
Площа поперечного перерізу по повітрю	$\text{м}^2$	0,08846
Швидкість виходу повітря з отворів підводу	м/с	40
Об'ємна витрата повітря	$\text{м}^3/\text{год}$	12737
Тиск повітря на пальник	$\text{кгс}/\text{м}^2$	60
Площа поперечного перерізу по газу	$\text{м}^2$	0,002328
Швидкість виходу газу з отвору підводу	м/с	109
Об'ємна витрата газу на пальник	$\text{м}^3/\text{год}$	909
Тиск газу на пальник	$\text{кгс}/\text{см}^2$	0,15
Тиск газу на котел	$\text{кгс}/\text{см}^2$	0,2
Надлишок повітря	—	1,46
Теплова потужність пальника	Гкал/год	7,5



В результаті проведеного аналізу отриманих даних було зафіксовано надмірне значення надлишку повітря, яке виникає у результаті зменшеного аеродинамічного опору пальника МГМП-9 у порівнянні із штатним пальником РГМГ-9.

Для зменшення кількості повітря на пальник та з врахуванням неможливості змінювати продуктивність штатного нерегульованого вентилятора вирішено встановити по повітряному тракту між повітропроводом та пальниковим пристроєм стабілізатор типу №1 (Рисунок 5.5). Це дозволило зменшити витрату повітря на пальник, збільшити рівень рівномірності поле швидкостей повітря на виході з пальника. Також було вирішено збільшити діаметр отворів по газу з 4,2мм до 5мм для збільшення теплової потужності пальника МГМП-9 з 7,5 Гкал/год до 9 Гкал/год.

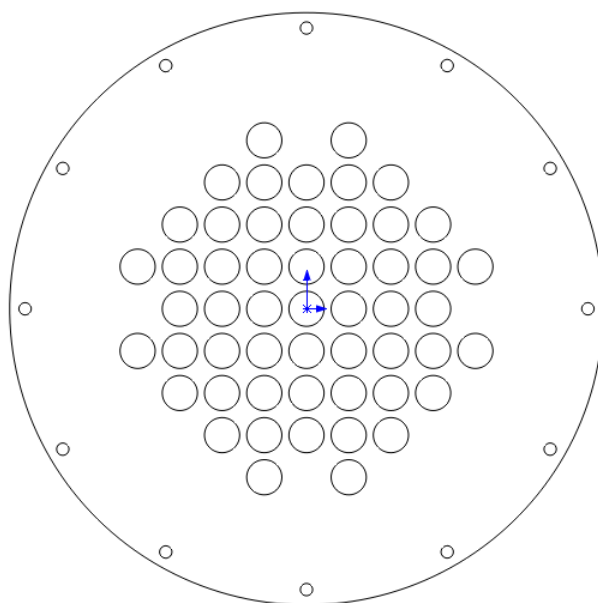


Рис. 5.5 - Стабілізатор типу №1

Таблиця 5.3 - Геометричні характеристики стабілізатора типу №1

Параметр	Одиниця	Значення параметру
Діаметр отворів	мм	40
Кількість отворів	шт.	53
Площа живого перерізу	м <sup>2</sup>	0,0666

### 5.3 Аналіз результатів проведених дослідів характеристик котла зі МГМП-пальниками

Випробування проводилися на навантаженні менше номінального у зв'язку із тим, що котел неможливо було навантажити на повну номінальну потужність. Тому котел працював на 6 та 8 пальниках.

Випробування роботи котлоагрегату ПТВМ-180 ст.№2 на 6 пальникових пристроях штатного типу РГМГ-9 № 6, 7, 9, 12, 15, 18. Були заміряні наступні значення величин (дивись таблиця 5.4).

Таблиця 5.4 - Середні значення заміряних величин при випробуванні роботи ПТВМ-180 ст.№2 «ТЕЦ-5» на 6 пальникових пристроях штатного типу РГМГ-9 № 6, 7, 9, 12, 15, 18

	Найменування величин	Позначення	Одиниця	Значення
<b>I ПАЛИВО - ГАЗ</b>				
1	Витрата газу на котел (по приладу)	$V_{\text{г}}$	м <sup>3</sup> /год	7500
2	Кількість працюючих пальників	$n$	шт	6
3	Тиск газу за РК (на котел)	$P_{\text{г}}$ за РК	кг/см <sup>2</sup>	0,2
<b>II МЕРЕЖНА ВОДА</b>				
4	Витрата мережної води через котел	$D_{\text{м.в.}}$	т/год	3850
5	Температура м.в. на вході в котел	$T'_{\text{м.в.}}$	°С	47,0
6	Температура м.в. на виході з котла	$T''_{\text{м.в.}}$	°С	60,0
<b>III ПОВІТРЯ І ДИМОВІ ГАЗИ</b>				
7	Температура зовнішнього повітря	$T_{\text{зн}}$	°С	7,0
8	Температура холодного повітря	$T_{\text{хп}}$	°С	9,0
9	Розрідження зверху топки котла	$S_{\text{т}}$	кг/м <sup>2</sup>	5,0
10	Температура відхідних газів	$T_{\text{вг}}$	°С	65
<b>IV ГАЗОВИЙ АНАЛІЗ</b>				
11	RO <sub>2</sub> в відхідних газах	$RO_2''$	%	7,77
12	O <sub>2</sub> в відхідних газах	$O_2''$	%	7,7
13	CO в відхідних газах	$CO''$	мг/м <sup>3</sup>	0,0
14	Надлишок повітря в відхідних газах	$\alpha_{\text{вг}}$	-	1,518
15	NO <sub>x</sub> в відхідних газах	$NO_x$	мг/м <sup>3</sup>	124

В результаті проведених розрахунків отримані наступні характеристики роботи котлоагрегату ПТВМ-180 ст.№2 «ТЕЦ-5» на палинкових пристроях штатного типу РГМГ-9 № 6, 7, 9, 12, 15, 18 (дивись таблиця 5.5).

Таблиця 5.5 – Середні значення розрахованих величин при випробуванні роботи ПТВМ-180 ст.№2 «ТЕЦ-5» на 6 палинкових пристроях штатного типу РГМГ-9 № 6, 7, 9, 12, 15, 18

	Найменування величин	Позначення	Розмірність	Значення
<b>I ЕНЕРГО-ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ</b>				
1	Теплонавантаження котла	$Q_{\text{ка}}^{\text{бр}}$	Гкал/год	51,0
2	Втрата тепла з відхідними газами	$q_2$	%	4,587
3	Втрата тепла від хімічного палива	$q_3$	%	0,000
4	Втрата тепла в навкол. середовище	$q_5$	%	0,05
5	ККД котла "брутто"	$\eta_{\text{ка}}$	%	95,363
6	Питома витрата умовного палива	$b_{\text{ум}}$	кг уп/Гкал	149,80
7	Витрата палива по зворот. балансу	$V_{\text{г}}$	м <sup>3</sup> /год	6417,560
<b>II ЕКОЛОГІЧНІ ПОКАЗНИКИ</b>				
8	Масова концентрація NO <sub>x</sub> при h=1	$C_{h=1}NO_x$	мг/м <sup>3</sup>	203,3
9	Масова концентрація CO при h=1	$C_{h=1}CO$	мг/м <sup>3</sup>	0,00
10	Питомий викид NO <sub>x</sub>	$bNO_x$	г/Гкал	210,5
11	Питомий викид CO	$bCO$	г/Гкал	0,000
12	Секундний викид NO <sub>x</sub>	$MNO_x$	г/с	2,980
13	Секундний викид CO	$MCO$	г/с	0,00

Як видно з розрахунків, теплова продуктивність котлоагрегату при його роботі на 6 палинкових пристроях РГМГ-9 складає 51 Гкал/год, тобто на 3 Гкал/год менше, від мінімальної (54 Гкал/год). Тому для більш повного порівняння роботи котлоагрегату на палинкових пристроях штатного типу РГМГ-9 з його роботою на палинкових пристроях типу МГМП-9 було вирішено дослідити роботу котлоагрегату на 8 палинкових пристроях штатного типу РГМГ-9.

Також було проведено випробування роботи котлоагрегату ПТВМ-180 ст.№2 «ТЕЦ-5» » на 8 пальникових пристроях штатного типу РГМГ-9 № 3, 6, 7, 9, 12, 14, 18, 19. Були заміряні наступні значення величин (дивись таблиця 5.6).

Таблиця 5.6 – Середні значення заміряних величин при випробуванні роботи ПТВМ-180 ст.№2 філіалу «ТЕЦ-5» на 8 пальникових пристроях штатного типу РГМГ-9 № 3, 6, 7, 9, 12, 14, 18, 19

№ з/п	Найменування величин	Позначення	Одиниця	Значення
<b>I ПАЛИВО - ГАЗ</b>				
1	Витрата газу на котел (по приладу)	$V_{\text{г}}$	м <sup>3</sup> /год	7500
2	Кількість працюючих пальників	$n$	шт	8
3	Тиск газу за РК (на котел)	$P_{\text{г}}$ за РК	кг/см <sup>2</sup>	0,2
<b>II МЕРЕЖНА ВОДА</b>				
4	Витрата мережної води через котел	$D_{\text{м.в.}}$	т/год	3850
5	Температура м.в. на вході в котел	$T'_{\text{м.в.}}$	°C	74,0
6	Температура м.в. на виході з котла	$T''_{\text{м.в.}}$	°C	90,0
<b>III ПОВІТРЯ І ДИМОВІ ГАЗИ</b>				
7	Температура зовнішнього повітря	$T_{\text{зн}}$	°C	5,0
8	Температура холодного повітря	$T_{\text{хп}}$	°C	7,0
9	Розрідження зверху топки котла	$S_{\text{т}}$	кг/м <sup>2</sup>	5,0
10	Температура відхідних газів	$T_{\text{вг}}$	°C	90
<b>IV ГАЗОВИЙ АНАЛІЗ</b>				
11	RO <sub>2</sub> в відхідних газах	$RO_2''$	%	10,07
12	O <sub>2</sub> в відхідних газах	$O_2''$	%	3,4
13	CO в відхідних газах	$CO''$	мг/м <sup>3</sup>	28,0
14	Надлишок повітря в відхідних газах	$\alpha_{\text{вг}}$	-	1,172
15	NO <sub>x</sub> в відхідних газах	$NO_x$	мг/м <sup>3</sup>	173

В результаті проведених розрахунків отриманні наступні характеристики роботи котлоагрегату ПТВМ-180 ст.№2 філіалу «ТЕЦ-5» на 8 пальникових пристроях штатного типу РГМГ-9 № 3, 6, 7, 9, 12, 14, 18, 19 (дивись таблиця 5.7).

Таблиця 5.7 - Середні значення розрахованих величин при випробуванні роботи ПТВМ-180 ст.№2 філіалу «ТЕЦ-5» на 8 пальникових пристроях штатного типу РГМГ-9 № 3, 6, 7, 9, 12, 14, 18, 19

	Найменування величин	Позначення	Одиниця	Значення
<b>I ЕНЕРГО-ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ</b>				
1	Теплонавантаження котла	$Q_{ка}^{бр}$	Гкал/год	62,7
2	Втрата тепла з відхідними газами	$q_2$	%	3,774
3	Втрата тепла від хімічного палива	$q_3$	%	0,008
4	Втрата тепла в навкол. середовище	$q_5$	%	0,05
5	ККД котла "брутто"	$\eta_{ка}$	%	96,168
6	Питома витрата умовного палива	$b_{ум}$	кг уп/Гкал	148,55
7	Витрата палива по зворот. балансу	$V_2$	м <sup>3</sup> /год	7947,705
<b>II ЕКОЛОГІЧНІ ПОКАЗНИКИ</b>				
8	Масова концентрація NOx при h=1	$Ch=1NOx$	мг/м <sup>3</sup>	212,9
9	Масова концентрація CO при h=1	$Ch=1CO$	мг/м <sup>3</sup>	34,46
10	Питомий викид NOx	$B NOx$	г/Гкал	221,8
11	Питомий викид CO	$B CO$	г/Гкал	35,899
12	Секундний викид NOx	$M NOx$	г/с	3,865
13	Секундний викид CO	$M CO$	г/с	0,63

Також було проведено випробування роботи котлоагрегату ПТВМ-180 ст.№2 філіалу «ТЕЦ-5» на 6 палинкових пристроях МГМП-9 № 4, 5, 10, 11, 16, 17. Були заміряні наступні значення величин (таблиця 5.8).

Таблиця 5.8 - Середні значення заміряних величин при випробуванні роботи водогрійного котлоагрегату ПТВМ-180 ст.№2 філіалу «ТЕЦ-5» на 6 палинкових пристроях МГМП-9 № 4, 5, 10, 11, 16, 17

	Найменування величин	Позначення	Розмірність	Значення
<b>I ПАЛИВО - ГАЗ</b>				
1	Витрата газу на котел (по приладу)	$V_g$	м <sup>3</sup> /год	7500
2	Кількість працюючих пальників	$n$	шт	6
3	Тиск газу за РК (на котел)	$P_g$ за РК	кг/см <sup>2</sup>	0,2
<b>II МЕРЕЖНА ВОДА</b>				
4	Витрата мережної води через котел	$D_{м.в.}$	т/год	3850
5	Температура м.в. на вході в котел	$T'_{м.в.}$	°C	75,0
6	Температура м.в. на виході з котла	$T''_{м.в.}$	°C	89,0
<b>III ПОВІТРЯ І ДИМОВІ ГАЗИ</b>				
7	Температура зовнішнього повітря	$T_{зн}$	°C	5,0
8	Температура холодного повітря	$T_{хп}$	°C	7,0
9	Розрідження зверху топки котла	$S_m$	кг/м <sup>2</sup>	5,0
10	Температура відхідних газів	$T_{вг}$	°C	86
<b>IV ГАЗОВИЙ АНАЛІЗ</b>				
11	RO <sub>2</sub> в відхідних газах	$RO_2''$	%	10,85
12	O <sub>2</sub> в відхідних газах	$O_2''$	%	1,9
13	CO в відхідних газах	$CO''$	мг/м <sup>3</sup>	0,0
14	Надлишок повітря в відхідних газах	$\alpha_{вг}$	-	1,088
15	NO <sub>x</sub> в відхідних газах	$NO_x$	мг/м <sup>3</sup>	161

В результаті проведених розрахунків отриманні наступні характеристики роботи котлоагрегату ПТВМ-180 ст.№2 філіалу «ТЕЦ-5» на 6 пальникових пристроях МГМП-9 № 4, 5, 10, 11, 16, 17 (дивись таблицю 5.9).

Таблиця 5.9 – Середні значення розрахованих величин при випробуванні роботи ПТВМ-180 ст.№2 філіалу «ТЕЦ-5» на 8 пальникових пристроях МГМП-9 № 4, 5, 10, 11, 16, 17

	Найменування величин	Позначення	Одиниця	Значення
<b>I ЕНЕРГО-ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ</b>				
1	Теплонавантаження котла	Q <sub>кабр</sub>	Гкал/год	54,7
2	Втрата тепла з відхідними газами	q <sub>2</sub>	%	3,331
3	Втрата тепла від хімнедопалу	q <sub>3</sub>	%	0,000
4	Втрата тепла в навкол. середовище	q <sub>5</sub>	%	0,05
5	ККД котла "брутто"	η <sub>ка</sub>	%	96,639
6	Питома витрата умовного палива	b <sub>ум</sub>	кг уп/Гкал	147,83
7	Витрата палива по зворот. балансу	V <sub>Г</sub>	м <sup>3</sup> /год	6897,518
<b>II ЕКОЛОГІЧНІ ПОКАЗНИКИ</b>				
8	Масова концентрація NO <sub>x</sub> при h=1	Ch=INO <sub>x</sub>	мг/м <sup>3</sup>	182,6
9	Масова концентрація CO при h=1	Ch=ICO	мг/м <sup>3</sup>	0,00
10	Питомий викид NO <sub>x</sub>	B NO <sub>x</sub>	г/Гкал	189,4
11	Питомий викид CO	B CO	г/Гкал	0,000
12	Секундний викид NO <sub>x</sub>	M NO <sub>x</sub>	г/с	2,877
13	Секундний викид CO	M CO	г/с	0,00

Розрахуємо потужність одного пальника штатного РГМГ-9 та типів МГМП-9 при роботі на котлоагрегаті ПТВМ-180 ст.№2 філіалу «ТЕЦ-5» за формулою:

$$Q_{\text{пальн}} = Q_{\text{ка}}^{\text{бр}} / n_{\text{пальн}} \quad (5.1)$$

Потужність одного штатного пальника РГМГ-9 при роботі котлоагрегату ПТВМ-180 ст.№2 філіалу «ТЕЦ-5» на 6 пальниках штатного типу РГМГ-9, Гкал/год:

$$Q_{\text{пальн}} = 51/6 = 8,5.$$

Потужність одного штатного пальника РГМГ-9 при роботі котлоагрегату ПТВМ-180 ст.№2 філіалу «ТЕЦ-5» на 8 пальниках штатного типу РГМГ-9, МВт :

$$Q_{\text{пальн}} = 62,7/8 = 7,84 \text{ Гкал/год} = 9.12$$

Потужність одного пальника МГМП-9 при роботі котлоагрегату ПТВМ-180 ст.№2 філіалу «ТЕЦ-5» на 6 пальниках типу МГМП-9, МВт:

$$Q_{\text{пальн}} = 54,7/6 = 9,12 \text{ Гкал/год} = 10.61$$

Отримані дані зведемо у таблиці 5.10 та представимо у вигляді діаграм (рисунок 5.6-5.9)

Таблиця 5.10 - Середні значення розрахованих величин при випробуванні роботи водогрійного котлоагрегату ПТВМ-180 ст.№2 філіалу «ТЕЦ-5» на пальникових пристроях штатного РГМГ-9 та МГМП-9

	Найменування величин	Позна-чення	Одиниця	Значення		
				6 штатних пальників РГМГ-9	8 штатних пальників РГМГ-9	6 пальників МГМП-9
I ЕНЕРГО-ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ						
1	Теплонавантаження котла	$Q_{\text{ка}}^{\text{бр}}$	Гкал/год	51,0	62,7	54,7
2	Втрата тепла з відхідними газами	$q_2$	%	4,587	3,774	3,331
3	Потужність одного пальника		Гкал/год	8,5	7,84	9,12
4	Втрата тепла від хімнедопалу	$q_3$	%	0,000	0,008	0,000
5	Втрата тепла в навкол. середовище	$q_5$	%	0,05	0,05	0,05
6	ККД котла "брутто"	$\eta_{\text{ка}}$	%	95,363	96,168	96,639
7	Питома витрата умовного палива	$b_{\text{ум}}$	кг уп/Гкал	149,80	148,55	147,83
8	Витрата палива по зворот. балансу	$V_{\text{г}}$	м³/год	6417,560	7947,705	6897,518
II ЕКОЛОГІЧНІ ПОКАЗНИКИ						
9	Масова концентрація NOx при h=1	$C_{h=1}NOx$	мг/м³	203,3	212,9	182,6
10	Масова концентрація CO при h=1	$C_{h=1}CO$	мг/м³	0,00	34,46	0,00
11	Питомий викид NOx	$B NOx$	г/Гкал	210,5	221,8	189,4
12	Питомий викид CO	$B CO$	г/Гкал	0,000	35,899	0,000
13	Секундний викид NOx	$M NOx$	г/с	2,980	3,865	2,877
14	Секундний викид CO	$M CO$	г/с	0,00	0,63	0,00



Як видно з розрахунків, потужність штатних пальників РГМГ-9 менша за необхідну (9 Гкал/год) на 5% при роботі на 6 штатних пальниках РГМГ-9 та на 13% при роботі на 8 штатних пальниках РГМГ-9. Потужність пальника МГМП-9 навіть на 1% перевищує необхідну потужність для пальникового пристрою котлоагрегату ПТВМ-180.

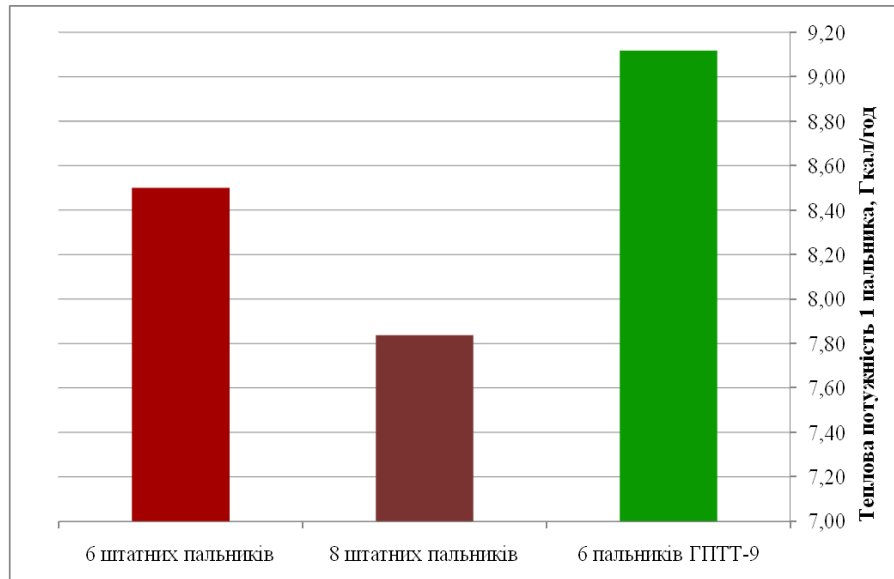


Рисунок 5.6 – Теплова потужність 1 пальника штатного типу РГМГ-9 та типу МГМП-9 котлоагрегату ПТВМ-180 ст.№2 філіалу «ТЕЦ-5» при його роботі на пальниках штатного РГМГ-9 та типів МГМП-9

ККД котлоагрегату ПТВМ-180 ст.№2 філіалу «ТЕЦ-5» при його роботі на 6 пальниках МГМП-9 на 1,28% більше, ніж при роботі котлоагрегату на 6 пальниках штатного типу РГМГ-9 та на 0,47% більше, ніж при роботі котлоагрегату на 8 пальниках штатного типу РГМГ-9 (рисунок 5.7)

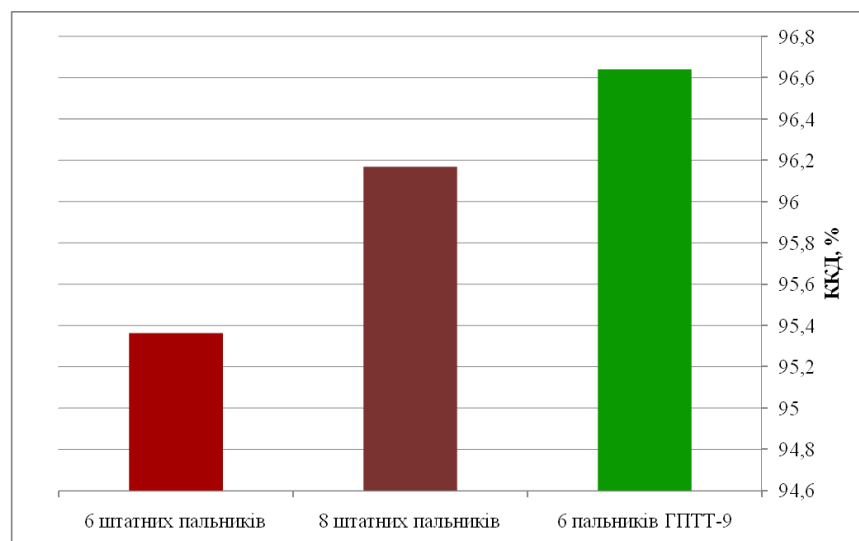


Рисунок 5.7 - Порівняння ККД котлоагрегату ПТВМ-180 ст.№2 філіалу «ТЕЦ-5» при його роботі на пальниках штатного РГМГ-9 та типів МГМП-9

Витрати умовного палива на котлоагрегат ПТВМ-180 ст.№2 філіалу «ТЕЦ-5» при його роботі на 6 пальниках МГМП-9 на 1,97 кг уп/Гкал менше, ніж при роботі котлоагрегату на 6 пальниках штатного типу РГМГ-9 та на 0,72 кг уп/Гкал менше, ніж при роботі котлоагрегату на 8 пальниках штатного типу РГМГ-9 (рисунок 5.8).

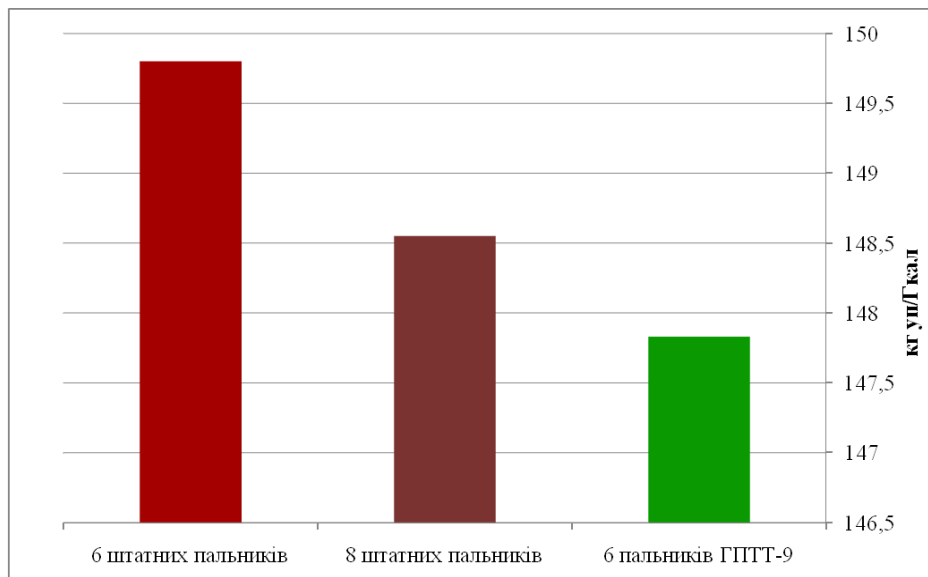


Рисунок 5.8 - Порівняння витрати умовного палива на котлоагрегат ПТВМ-180 ст.№2 філіалу «ТЕЦ-5» при його роботі на пальниках штатного РГМГ-9 та типів МГМП-9

Питомі викиди оксидів азоту NOx котлоагрегатом ПТВМ-180 ст.№2 філіалу «ТЕЦ-5» при його роботі на 6 пальниках ГПТТ-9 на 21,1 г/Гкал менше, ніж при роботі котлоагрегату на 6 пальниках штатного типу РГМГ-9 та на 32,4 г/Гкал менше, ніж при роботі котлоагрегату на 8 пальниках штатного типу РГМГ-9 (рисунок 5.9).

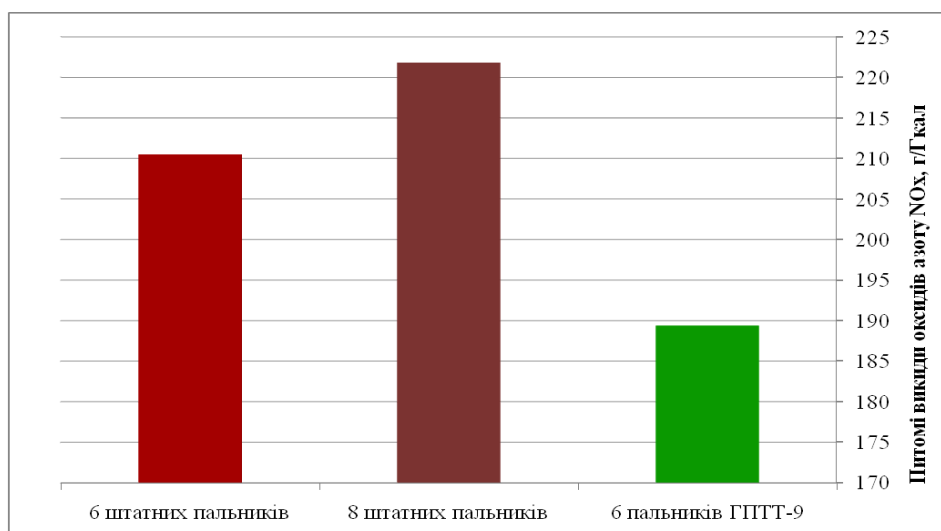


Рисунок 5.9 - Порівняння питомих викидів оксидів азоту NOx котлоагрегатом ПТВМ-180 ст.№2 філіалу «ТЕЦ-5» при його роботі на пальниках штатного РГМГ-9 та типів МГМП-9

Питомі викиди оксидів вуглецю СО котлоагрегатом ПТВМ-180 ст.№2 філіалу «ТЕЦ-5» при його роботі на 6 пальниках МГМП-9 відсутні, як і при роботі котлоагрегату на 6 пальниках штатного типу РГМГ-9 та на 36 г/Гкал менше, ніж при роботі котлоагрегату на 8 пальниках штатного типу РГМГ-9.

#### 5.4 Розрахунок економічного ефекту

Згідно отриманих даних питома витрата умовного палива при роботі котлоагрегату на пальникових пристроях трубчастого типу менше від аналогічного значення при роботі на штатних пальникових пристроях при тій самій потужності на

$$b_{ек}^{y.n.} = 1,97 \frac{кг \ y.n.}{Гкал} = 2318.35 \text{ кг/МДж}$$

Економія питомої об'ємної витрати газу,  $м^3/Гкал$  :

$$V_{ек}^{газу} = b_{ек}^{y.n.} \cdot \frac{7000}{8222} \quad (5.2)$$

де 7000 – нижча теплота згоряння умовного палива, ккал/кг у.п.;

8222 – нижча теплота згоряння газу, що спалюється, ккал/м<sup>3</sup>.

$$V_{ек}^{газу} = 1,97 \cdot \frac{7000}{8222} = 1,68 .$$

Потужність одного пальникового пристрою згідно паспортних даних,  $Гкал / год$

$$Q_{пальника} = 9 . \quad (5.3)$$

Кількість енергії у формі теплоти, виробленої за опалювальний сезон одним пальниковим пристроєм:

$$N_{пальника}^{вир} = Q_{пальника} \cdot n_0 \cdot 24, , \quad (5.4)$$

де  $n_0 = 187 \text{ дів}$  – кількість днів у опалювальному сезоні для м. Києва,  $Гкал/оп.сезон$  .

$$N_{пальника}^{вир} = 9 \cdot 187 \cdot 24 = 40,4 \cdot 10^3 .$$

Кількість газу, заощадженого від використання трубчастої технології спалювання газу,  $тис.м^3$  :

$$\Delta V_{ек}^{газу} = N_{пальника}^{вир} \cdot V_{ек}^{газу} \cdot 10^{-3} , , \quad (5.5)$$

$$\Delta V_{ек}^{газу} = 40,4 \cdot 10^3 \cdot 1,68 \cdot 10^{-3} = 67,87$$

Вартість газу для промислових та комунальних підприємств складає,  $\frac{грн}{тис.м^3}$

$$C_{газу}^{пром} = 4687,42 \text{ .}$$

Економія від використання трубчастої технології спалювання газу,  $\frac{грн}{оп.сезон}$  :

$$E = C_{газу}^{пром} \cdot \Delta V_{ек}^{газу} \text{ , ,} \quad (5.6)$$

$$E = 4687,42 \cdot 67,87 = 318135 \text{ грн/оп. сезон}$$

## 5.5 Висновки з розділу 5

У цьому розділі визначила основні властивості газо-мазутного пальника у котлі.

Спочатку за п'ять експериментів, щоб визначити регульованих можливостей пальникового пристрою. При експлуатації котлоагрегату ПТВМ-180 станція №2 філіалу «ТЕЦ-5» підтримується тиск газу на котел  $0,15 \div 0,2$  кгс/см<sup>2</sup>. Тиск газу на пальник при цьому складає  $0,11 \div 0,15$  кгс/см<sup>2</sup>. Таким чином, з'ясовано, що в діапазоні тисків газу на пальник, які підтримуються при роботі котлоагрегату, а саме  $0,11 \div 0,15$  кгс/см<sup>2</sup> пальник МГМП-9 працює стабільно, колір факелу блакитний. Факел починається на відстані  $3 \div 5$  см від фронтальної трубної дошки пальника, а його довжина коливається у діапазоні  $\frac{1}{2} \div \frac{3}{4}$  ширини топки. Охолоджені до температури  $510 \div 730^\circ\text{C}$  продукти згорання продовжують свій рух вздовж горизонтальної вісі до протилежної фронтальної стінки та вздовж екранних труб котлоагрегату піднімаються вгору.

З метою визначення розпилюючих властивостей мазутної форсунки було проведено комплекс досліджень умов та характеристик (кут розпилу, масова витрата) розпилення мазуту з робочим тілом вода на дослідному стенді, на якому за аналогічним тиском подачі мазуту та при рівному значенні в'язкості . За підсумками досліджень визначено оптимальні характеристики (кут розпилення 82о , тиск 1.45 МПа )

Проведено аналіз результатів дослідів характеристик котла зі МГМП-пальниками. Випробування проводилися на навантаженні менше номінального у зв'язку із тим, що котел неможливо було навантажити на повну номінальну потужність, тому котел працював на 6 та 8 пальниках. Отримані дані зведено у таблиці 5.10 та предсталено у вигляді діаграм (рисунки 5.6-5.9)

Розрахувала економічний ефект, від використання одного пальника МГМП-9 складає 318135 грн. за опалувальний сезон.

В результаті проведених вимірювань та розрахунків показників роботи котлоагрегату ПТВМ-180 ст.№2 філіалу «ТЕЦ-5» при його роботі на пальникових пристроях штатного РГМГ-9 та типів МГМП-9 було кількісно оцінено позитивний ефект від переоснащення котлоагрегату ПТВМ-180 з використанням пальникових пристроїв МГМП-9:

– потужність пальника МГМП-9 на 1% перевищує необхідну потужність для пальникового пристрою котлоагрегату ПТВМ-180 (9 Гкал/год); тоді як потужність штатних пальників РГМГ-9 менша за необхідну на 5% при роботі на 6 штатних пальниках РГМГ-9 та на 13% при роботі на 8 штатних пальниках РГМГ-9;

– ККД котлоагрегату ПТВМ-180 збільшився на номінальній потужності на 3%: так при його роботі на низки теплових навантаженнях на 6 пальниках МГМП-9 на 1,28% більше, ніж при роботі котлоагрегату на 6 пальниках штатного типу РГМГ-9 та на 0,47% більше, ніж при роботі котлоагрегату на 8 пальниках штатного типу РГМГ-9;

– витрати умовного палива на котлоагрегат ПТВМ-180 при його роботі на 6 пальниках МГМП-9 на 1,97 кг уп/Гкал менше, ніж при роботі котлоагрегату на 6 пальниках штатного типу РГМГ-9 та на 0,72 кг уп/Гкал менше, ніж при роботі котлоагрегату на 8 пальниках штатного типу РГМГ-9;

– питомі викиди оксидів азоту  $\text{NO}_x$  котлоагрегатом ПТВМ-180 при його роботі на 6 пальниках МГМП-9 на 21,1 г/Гкал на 60% менше, ніж при роботі котлоагрегату на 6 пальниках штатного типу РГМГ-9 та на 32,4 г/Гкал менше, ніж при роботі котлоагрегату на 8 пальниках штатного типу РГМГ-9;

– питомі викиди оксидів вуглецю  $\text{CO}$  котлоагрегатом ПТВМ-180 при його роботі на 6 пальниках МГМП-9 відсутні і дорівнюють  $0 \text{ мг/м}^3$ , а при роботі котлоагрегату на 6 пальниках штатного типу РГМГ-9 та на 36 г/Гкал менше, ніж при роботі котлоагрегату на 8 пальниках штатного типу.

– економічний ефект від використання 1 пальника МГМП-9 складає 318135 грн за опалювальний сезон.

Більш повний ефект від використання пальникових пристроїв ГПТТ-9 буде досягнуто при заміні всіх 20 пальників.

Враховуючи результати іспитів на котлі необхідно зазначити, що проведення модернізації пальникової системи заміною штатних пальників РГМГ-9 на мікрофакельні газо-мазутні пальники типу МГМП-9 доводять її економічну та екологічну доцільність за комплексом техніко-економічних та еколого-енергетичних показників.

## **6 РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ**

### **6.1 Резюме проекту**

Головною ідеєю проекту є розробка та виготовлення пальників нового покоління на основі трубчатої технології спалювання газового палива, які мають тривалий термін експлуатації та високі показники енергоекологічної ефективності, розробка готових рішень із заміни існуючих застарілих пальників та встановлення нових на газових та твердопаливних промислових котлоагрегатах.

Дані пальники мають значні технологічні, експлуатаційні та економічні переваги у порівнянні з іншими технологіями паливоспалювання. Пальники на базі трубчастих модулів, здатні спалювати природний газ (та інші типи газоподібного палива) ефективно й екологічно чисто. Через якісне сумішеутворення та спалювання природного газу утворюється значно менша кількість викидів NO<sub>x</sub>, CO, а з'єднань сірки і твердих частинок немає.

Для промислового споживача - це простота в обслуговуванні і надійність, високий діапазон регулювання та повна автоматизація технології газоспалювання. Термін служби такого пальника - не менше 10 років. Це більш ніж в два рази довше, ніж у його конкурентів, що значно збільшує можливості виходу на ринок.

Основними споживачами є багатoproфільні підприємства (будь-які заклади, що мають в господарстві парові або водогрійні котли на різних типах палива; організації, що планують оновлювати і осучаснювати існуючі пальникові системи для економії палива та зниження собівартості продукції) та багатосторонні платформи (підприємства та забудови; підприємства теплопостачання та виробництва теплової енергії).

Конкурентною перевагою є те, що в Україні діють екологічні норми, як і в Євросоюзі, а підприємства повинні проходити контроль екологічної служби. Також енергоефективні технології спалювання і реконструкції існуючих систем заохочуються з боку держави, тому такі проекти будуть користуватись попитом.

### **6.2 Організація проекту**

Даний проект реалізовується на теоретичній та технологічній базі НТУУ «КПІ ім. І. Сікорського». Період створення – 01.09.2019 – 31.12.2020.

Ціль даного проекту полягає у створенні науково-дослідного відділу при кафедрі ТПТ НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», що буде виконувати енергоаудит котельного обладнання підприємств та надавати готові проектні рішення з енергоефективності та екологічної чистоти систем газоспалювання. Також відділ буде безпосередньо співпрацювати з виробниками пальникового обладнання та підрядними організаціями з монтажу та експлуатації котельних установок, створювати проекти встановлення та займатись налагодженням роботи пальників власної розробки.

Напрямок діяльності створюваного відділу – створення готових рішень із реконструкції пальникової системи енергетичних котлів; співпраця та заключення договорів з виробником та монтажно-експлуатаційними організаціями.

Для реалізації проекту планується виділення кімнатного приміщення із балансу кафедри ТПТ НТУУ КПІ, в якому буде працювати команда спеціалістів, також планується закупівля вимірювальних приладів різних типів та персональних комп'ютерів з необхідним програмним забезпеченням для надання послуг моделювання та проектування пальників.

Також слід відзначити, що діяльність відділу заснована насамперед на наукових дослідженнях різних технологій спалювання газового палива в трубчатих модулях із залученням студентів та викладацького складу кафедри. Необхідно надалі працювати в науковому напрямку задля пошуку шляхів вдосконалення систем спалювання газу. В подальшому планується заснування науково-дослідного відділу факультету, або університету, з окремим фінансуванням, для розробки стендів та інших експериментальних установок.

Проект буде являти собою науково-дослідний відділ з надання послуг, що буде стартап проектом, через низький рівень кваліфікації аналогічних компаній в Україні по заданій тематиці, та використання ними застарілих методів аналізу існуючих систем газоспалювання. Також в Україні одиниці компаній пропонують комплексні рішення, які передбачають проектування всієї пальникової системи в цілому, та повний технічний супровід робіт з реконструкції із застосуванням наукових розрахунків та нових, високоточних приладів.

### 6.3 Канва моделі стартап-проекту

<p><b>(8) КЛЮЧОВІ ПАРТНЕРИ</b></p> <p>Ключовими партнерами є НТУУ «КПІ», підприємства виробники обладнання та проектні організації, конкуруючі та неконкуруючі підприємства, що залучені до паливно-енергетичного сектору а також безпосередні споживачі.</p>	<p><b>(4) КЛЮЧОВІ ВИДИ ДІЯЛЬНОСТІ</b></p> <p>Запровадження інноваційної конструкторської проектної документації. Виготовлення пальників на газовому виді палива, та реалізація даного продукту по Україні.</p>	<p><b>(5) ЦІННІСНІ ПРОПОЗИЦІЇ</b></p> <p>Маневреність та легкість управління пальниковою системою; скорочення витрати газу та емісії викидів, а, отже, і вартості виробленої продукції підприємствами.</p>	<p><b>(6) ВЗАЄМОВІДНОСИНИ ЗІ СПОЖИВАЧАМИ</b></p> <p>Кожен споживчий сегмент очікує стабільності у постачанні продукції та її високу якість. Разом з цим споживачі розраховують на надійність, прибутковість та екологічність запропонованої технології.</p>	<p><b>(5) СПОЖИВЧІ СЕГМЕНТИ</b></p> <p>Споживачі – підприємства і підрядні організації, що проводять онтажно-будівельні роботи; великий і середній бізнес, об'єкти бюджетних і комунальних підприємств; будь-які будівлі та споруди, в яких необхідно забезпечити тепlopостачання.</p>
<p><b>(7) СТРУКТУРА ВИТРАТ</b></p> <p>Бізнес модель передбачає інвестиційні та виробничі витрати, з яких придбання устаткування є найбільш дорогим ключовим ресурсом. Найбільших затрат серед ключових видів діяльності вимагає організація діяльності, реклама та запуск проекту.</p>				<p><b>(8) ПОТОКИ НАДХОДЖЕННЯ ДОХОДІВ</b></p> <p>Залежить від самонавчання системи.</p>



#### 6.4 Ключові види діяльності проекту

Вид проекту за характером інновації:

- дослідно-конструкторська робота – розробка та впровадження конструкторської проектної документації та готових рішень з питань енергоекологічних схем газоспалювання;
- запровадження нової технології: створення досі неіснуючої системи трубчастого спалювання газового палива;
- організаційні інновації – впровадження шаблону співпраці з замовником, що передбачає надання послуг від першого спілкування з замовником до встановлення і реалізації спроектованих відділом рішень; співпраця колективу відділу в напрямку розробки наукових інноваційних технологій;
- інше – проект використовує енергоекологічні методи вдосконалення існуючих схем газоспалювання, що покращує як енергетичну так і екологічну складову ефективності існуючих систем. Такі рішення заохочуються та частково фінансуються державою.

Спрямованість проекту:

- оновлення вітчизняної технологічної бази (впровадження конструктивних рішень в існуючі системи газоспалювання для підвищення енергетичної та екологічної ефективності роботи котлів);
- економія енергоресурсів (впровадження методів мікрофакельного горіння для існуючих котлів дозволить економити кошти на витраті газу та оплати за викиди у довкілля, що, в свою чергу, приведе до зниження витрати первинних енергоресурсів і, як результат, до собівартості виготовленої продукції);
- поліпшення стану навколишнього середовища (впровадження використання трубчатих пальників дозволить знизити викиди шкідливих речовин, що виділяються при спалюванні газового палива).

Висновок щодо науково-технічного рівня ідеї:

- на рівні кращих світових аналогів: дані задачі реалізуються на теоретичному рівні в науково-дослідницьких центрах.
- краща за існуючі в Україні аналоги за основними показниками.

Таблиця 6.1 - Основні бізнес-процеси проекту:

<i>Група процесів</i>	<i>Бізнес-процес</i>	<i>Ступінь опрацювання бізнес-процесу</i>	
		<i>є реалізованим</i>	<i>буде реалізованим</i>
Розробка продукції	розробка та конструювання продукції	+	
	розробка і конструювання процесу	+	
	технологічна підготовка виробництва		+
Вимоги споживачів	дослідження розвитку ринку	+	
	організація маркетингу і продажів		+
	тендерне розміщення замовлень		+
Виконання замовлень	забезпечення і матеріально-технічний збут		+
	планування і управління виробництвом		+
	виробництво продукції		+
	розподіл продукції і логістика		+
Обслуговування споживача	післяпродажне обслуговування		+
	повернення продукції		+

## 6.5 Ціннісні пропозиції та споживачі

*Ціннісна пропозиція – сукупність переваг, які проект може запропонувати споживачу.*

Характер формування споживчої цінності проекту:

- покращення задоволення існуючих потреб (використання трубчастих технологій газоспалювання суттєво покращить якість та легкість управління системою горіння на котлах)
- здешевлення задоволення існуючих потреб (використання трубчастих технологій газоспалювання усуває недоліки старих пальників з енергоекологічної точки зору та суттєво скоротить витрати на споживання газу);
- зменшення екологічного впливу на довкілля (одним із напрямів переваг даних пальників є зменшення викидів парникового газу оксиду азоту  $\text{NO}_x$ , та відповідне зменшення виплат за наднормативні викиди підприємства).

Таблиця 6.2 - Зміст ідеї проекту.

<i>Зміст ідеї</i>	<i>Напрямки застосування</i>	<i>Сегменти споживачів</i>	<i>Цінність для споживачів</i>
Розробка та виготовлення пальників нового покоління на основі трубчатої технології спалювання газового палива, які мають тривалий термін експлуатації та високі показники енергоекологічної ефективності.	1. Джерело продукування тепла в комунальній та приватній теплоенергетиці	Комунальні та промислові підприємства.	Задоволення потреб у теплопостачанні (опалення, гвп, технологічні потреби),
	2. Вироблення насиченої або перегрітої пари та гаряче водопостачання.	Приватні будинки, малий і середній бізнес.	Для технологічних потреб, в системах опалювання, вентиляції та гарячого водопостачання.

Таблиця 6.3 - Аналіз ідеї проекту:

Техніко-економічні характеристики ідеї	Продукція конкурентів		W (слабка сторона)	N (нейтральна сторона)	S (сильна сторона)
	Мій проект	Кон-т ТОВ "Спецгазпром"			
Розташування	Близьке	Близьке	-	-	Відсутність проблем з транспортуванням
Екологічність системи	Висока	Середня	-	-	Низькі викиди оксидів азоту
Доля ринку	15% (визначено за попереднім аналізом)	25%	На етапі становлення доля ринку буде низькою	-	-
Якість	Висока	Середня	-	-	Визначено за результатами попереднього аналізу
Ціна	2000 грн/Гкал	2500 грн/Гкал	-	-	Ціна нижча за таку ж в аналогах

Таблиця 6.4 - Технологічний аудит ідеї проекту:

<i>Ідея проекту</i>	<i>Технології її реалізації</i>	<i>Наявність технологій</i>	<i>Доступність технологій</i>
Виконання комплексних рішень	Енергоаудит об'єкта вцілому, врахування всіх переваг та недоліків систем газоспалювання	+	+
Співпраця з замовником «від 'а' до 'я'»	Супровід та створення умов для замовника, в яких забезпечується мінімальна його участь в процесах реалізації готових рішень	+	+
Використання енергоощадних рішень	Маючи дані енергоаудиту використовуються технології комплексного переоснащення котельних установок та газоспалювальних систем з метою економії палива, що є розробкою відділу	+	+
Зменшення екологічного впливу на довкілля	Використання трубчатих технологій газоспалювання сприяє зменшенню викидів парникового газу оксиду азоту NO <sub>x</sub>	+	+

Таблиця 6.5 - SWOT-аналіз проекту:

<p><i>Сильні сторони (S):</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Зменшення витрати газового палива</li> <li>– Скорочення викидів парникових газів</li> <li>– Високий термін служби</li> <li>– Висока якість надання послуг</li> <li>– Ціна нижча за таку ж в аналогах</li> </ul>	<p><i>Слабкі сторони (W):</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Потреба в додаткових площах для технічного виробництва пальників</li> <li>– Ціна не є значно нижчою за ціну конкурентів та аналогів</li> <li>– На етапі становлення доля ринку буде низькою</li> <li>– Мала кількість фінансових установ, що пропонують фінансові послуги для реконструкції теплоенергетики та бюджетної сфери</li> </ul>
<p><i>Можливості (O):</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Виробництво конкурентноспроможної продукції</li> <li>– Монополізація</li> <li>– Розвиток енергоекологічних технологій</li> <li>– Залучення закордонних інвесторів для створення дослідницьких центрів</li> <li>– Створення інноваційних технологій у даній сфері, їх патентування</li> <li>– Участь в тендерних змаганнях по проектуванню сучасних систем</li> </ul>	<p><i>Загрози (T):</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Неспівпадіння розрахованих даних з такими ж в реальних умовах</li> <li>– Поломка обладнання – збільшення простоїв і затрат на ремонт</li> <li>– Новизна технології – збільшення затрат на освоєння, зниження об'ємів виробництва</li> <li>– Недостатня надійність – збільшення аварійності технології</li> <li>– Відсутність резерву потужностей – неможливість покрити пікові потреби</li> </ul>

## 6.6 Взаємовідносини зі споживачами та канали збуту

Таблиця 6.6 - Взаємовідносини зі споживачами та канали збуту

<i>Сегмент споживачів</i>	<i>Особливості поведінки</i>	<i>Вимоги споживачів</i>	<i>Канали збуту</i>	<i>Інші аспекти взаємовідносин</i>
Регіональних ексклюзивних дилерів	Швидкість, оперативність, точність	- наявність альтернативних джерел сировини - стабільність ціни на продукцію	Приватні та комунальні підприємства	
Власний інтернет-магазин.	Можливість до оптимізації, модифікації	- стабільність виробництва теплової енергії - екологічна безпека введення даної технології	Будь-які будівлі, які необхідно забезпечити теплом	

## 6.7 Обґрунтування ресурсів та витрат проекту

Таблиця 6.7 - Визначення ціни:

<i>Рівень цін на товари-замінники</i>	<i>Рівень цін на товари-аналоги</i>	<i>Рівень доходів цільової групи споживачів</i>	<i>Верхня та нижня межі встановлення ціни на продукцію</i>	<i>Розрахункова ціна продукції</i>
1000-2500\$/од	1000-5000\$/од	10000\$/міс.	2500\$-20000\$	2500\$

Таблиця 6.8 - Визначення обсягу виробництва продукції:

<i>Показник</i>	<i>Значення по роках</i>				
	<i>2019</i>	<i>2020</i>	<i>2021</i>	<i>2022</i>	<i>2023</i>
<i>Загальна потреба в продукції</i>	100%	95%	89%	74%	51%
<i>Можливі річні обсяги випуску в натуральних показниках</i>	10од.	9од.	7од.	3 од.	3 од.
<i>Ціна одиниці продукції (тис. \$.)</i>	2,5	2,5	1,7	1,5	1,3
<i>Річні обсяги випуску в вартісних показниках (тис. \$.)</i>	2000	1900	1540	980	880

Таблиця 6.9 - Розрахунок загальних початкових інвестиційних витрат:

Назва етапу	Терміни виконання	Обсяги фінансування, тис. \$.
Проведення досліджень	01.01.19-01.05.19	30
Розробка або придбання технології	01.05.19-01.09.19	110
Придбання устаткування	01.09.19-01.10.19	70
Організація діяльності та запуск проекту	01.10.19-01.12.19	55
Витрати на управління	01.01.20-01.04.20	45
Початкові виробничі витрати	01.05.19-01.09.19	100
Інші витрати	01.01.19-01.04.20	40
	450	

Таблиця 6.10 - Розрахунок виробничих витрат:

Стаття витрат	Сукупні витрати за період, тис. грн.				
	2019	2020	2021	2022	2023
Загальногосподарські витрати	20	20	15	15	10
витрати на оренду та утримання приміщень, обладнання	5	5	5	5	5
комунальні витрати	2	2	2	2	2
витрати на збут, просування та рекламу	10	10	5	5	5
Витрати на матеріальні ресурси (комплектуючі, сировина)	50	40	30	20	10
Витрати на оплату праці	100	100	100	100	100
Інші витрати (якщо є)	20	20	20	20	20
Разом:	207	197	182	172	152

Таблиця 6.11 - Розрахунок загальних витрат на реалізацію проекту по роках

Показник	Значення по роках					Разом
	2019	2020	2021	2022	2023	
Інвестиційні витрати	450	0	0	0	0	450
Виробничі витрати	207	197	182	172	152	910
Обсяг загальних витрат, в тому числі за рахунок						
– власних коштів	0	197	182	172	152	703
– коштів інвестора	910	0	0	0	0	910



### 6.8 План робіт та партнери стартап-проекту

<i>Бізнес-процес проекту</i>	<i>Термін виконання</i>	<i>Виконавець, співвиконавці</i>	<i>Результат</i>
Розробка та конструювання продукції	5 місяців	Спільні підприємства для запуску проектів	Розроблений вид продукції
Розробка і конструювання процесу		Спільні підприємства для запуску проектів	Розроблений процес виготовлення продукції
Технологічна підготовка виробництва		Спільні підприємства для запуску проектів	Підготовлене виробництво
Дослідження розвитку ринку	2 місяці	Спільні підприємства для запуску проектів	Результати ринкових досліджень
Організація маркетингу і продажів	3 місяці	Співробітництво між неконкуруючі компаніями	Рекламна кампанія, угоди зі споживачами

### 6.9 Грошовий потік та економічна оцінка стартап-проекту

Визначення крапки беззбитковості проекту. Крапка беззбитковості відображає обсяг виробництва інноваційної продукції, при досягненні якого виручка від реалізації покриває сумарні витрати на її виробництво. Розрахунок точки беззбитковості проводиться за формулою:

$$T_{\text{б}} = \frac{C}{P - V},$$

де  $C$  – постійні витрати на весь обсяг продукції (ті, які не залежать від обсягу виробництва продукції – загальногосподарські витрати та витрати на оплату праці, визначені в п. 7.4);

$P$  – ціна одиниці продукції;

$V$  – змінні витрати на одиницю продукції (ті, які пропорційно залежать від обсягу виробництва продукції – витрати на матеріальні ресурси, визначені в п. 7.4).

Таблиця 6.12 - Висновок про те, скільки часу необхідно для досягнення рівня беззбитковості за проектом.

Стаття витрат	Сукупні витрати за період, тис. грн.				
	2018	2019	2020	2021	2022
Загальногосподарські витрати	20	20	15	15	10
Витрати на оплату праці	100	100	100	100	100
Постійні витрати на весь обсяг продукції (С)	120	120	115	115	110
Ціна одиниці продукції (Р), грн/кг	2,5	2,5	1,7	1,5	1,3
Витрати на матеріальні ресурси	50	40	30	20	10
Можливі річні обсяги випуску в натуральних показниках, т/рік	1000.	900.	700.	300.	300.
Змінні витрати на одиницю продукції (V), грн/кг	0,21	0,2	0,19	0,17	0,16
Точка беззбитковості, т	52,4	52,17	76,16	86,47	96,49

Рівень беззбитковості за проектом може бути досягнений у перший же рік введення проекту в дію.

Формування грошового потоку від реалізації проекту. Чистий дисконтований дохід – це різниця між надходженнями та інвестиціями, отриманими за весь період реалізації проекту.

Таблиця 6.13 – Формування грошового потоку від реалізації проекту

Показник	Значення по роках					Разом
	2019	2020	2021	2022	2023	
Надходження від проекту (виручка від реалізації продукції, послуг – див. п. 7.2) (D)	2500	2300	1850	1500	800	8950
Загальні витрати (див. п. 7.5) (I), в тому числі	910	197	182	172	152	1613
Грошовий потік ( $3 = 1 - 2$ ) (CF)	1590	2103	1668	1328	648	7337
Акумуляований грошовий потік (ACF)	1383	1906	1486	1156	496	-

Розрахунок індексу рентабельності інвестицій в проект. характеризує рівень грошового потоку, що припадає на одиницю інноваційних витрат і обчислюється за формулою:

$$\text{інвестиція здійснюється одноразово: } ROI = \sum_T D_t / I,$$

де  $D_t$  – надходження у відповідному періоді,

$$ROI = \frac{8950}{910} = 9,84.$$

$ROI = 9,84 > 1$  – інноваційний проект доцільно прийняти. Чим більшим є значення цього показника, тим вищою є віддача кожної грошової одиниці, інвестованої в інноваційний проект. Критерій ROI використовують при виборі певного проекту із декількох альтернативних, у яких NPV приблизно однакові.

Період окупності інвестицій. ( $T_{ок}$ ) – це розрахунковий термін від початку реалізації проекту, починаючи з якої акумульований грошовий потік (ACF) приймає стійке позитивне значення. Іншими словами, це – період, починаючи з якого первинні вкладення і інші витрати, пов'язані з інвестиційним проектом, покриваються сумарними результатами його здійснення.

Термін окупності розраховується за формулою:

$$T_{ок} = t + \frac{|ACF_{t-}|}{|ACF_{T-}| + |ACF_{T+}|},$$

де  $t$  – останній період реалізації проекту, при якому акумульований грошовий потік (різниця накопиченого доходу і витрат) приймає від'ємне значення ( $ACF$  – рядок 4 табл. 9.2) – у формулі зазначається порядковий номер періоду від початку фінансування);

$ACF_{t-}$  – це остання від'ємна різниця накопиченого доходу та витрат (грн.);

$ACF_{t+}$  – це перша позитивна різниця накопиченого доходу та витрат (грн.).

$$T_{ок} = 1 + \frac{1383}{1383 + 1906} = 1,42.$$

Період окупності інвестицій складає 1,42 років.

## 6.10 Висновки з розділу 6

За розглянутими пунктами можна побачити, що даний проект є прибутковим, а найголовніше – ефективним рішенням питання енергоекологічного спалювання газового палива на підприємствах теплоенергетики в Україні. Крім цього реалізація даного проекту може покласти початок масовості переведення комунальної теплоенергетики України на трубчасту технологію спалювання в газових пальниках. Для реалізації проекту необхідно інвестувати 910 тис. грн. Період окупності інвестиційних відрахувань складає всього 1,42 років, індекс рентабельності інвестицій в проект за 5 років становить 9,84 одиниці, а рівень беззбитковості за проектом може бути досягнений у перший же рік введення проекту в дію.

## ВИСНОВКИ

1 У роботі виконано системний комплексний аналіз роботи й аеродинамічних характеристик штатних газо-мазутних пальників енергетичного котла ПТВМ-180, на підставі якого визначені основні їх недоліки й вади при роботі у складі котла під навантаженням з отриманням швидкісних, концентраційних та теплових полів у топці.

2 На підставі моделювання та з використанням аналітичних розрахунків визначено аеродинамічні характеристики штатного пальника та його опір, який склав 1075,4 Па.

3 На підставі теорії горіння та існуючих нормованих методик розраховано процеси спалювання газу й мазуту у штатному пальнику.

4 За допомогою сертифікованих приладів визначені реальні аеродинамічні характеристики вентиляторів та повітряпроводу штатного пальника котла, в якому винайдені значні відхилення значень об'ємної витрати та швидкості від паспортних значень, що враховано при створенні нового типу мікрофакельного газо-мазутного пальника.

5 На основі розробленої в КПІ ім. Ігоря Сікорського методики розроблено, винайдені основні конструктивні характеристики, вироблено та встановлено у котел пальник нового покоління - мікрофакельний газо-мазутний пальник типу МГМП-9 тепловою потужністю 9 Гкал/год.

6 Для проведення практичних випробувань пальника МГМП-9 у складі котла в роботі розроблено конструкцію, проведено аеродинамічні та модельні дослідження, створено та встановлено на котел пальник МГМП-9 з підключенням його до повітряної, газової та мазутної систем котла.

7 Режимні випробування пальника МГМП-9 у складі котла проведено на газі й на мазутному паливі, складено режимні карти експлуатації котла, доведені комплексні позитивні результати роботи пальника з кращими енергетичними та екологічними показниками роботи у порівнянні із штатними: ККД котла збільшився на 3%, емісія NO<sub>x</sub> знизилася на 60%, а емісія CO=0, економічний ефект від заміни одного пальника становить майже 320 000 грн за опалувальний сезон без врахування зниження оплати за шкідливі викиди.

8 Використання сучасних мікрофакельних пальників типу МГМП дозволить здійснити ефективну маловитратну та швидко модернізацію пальникових систем потужних енергетичних котлів ТЕЦ та котлів комунальних котелень з підвищенням енергетичної ефективності та екологічної безпеки, що особливо важливо для країни, яка підписала Паризький протокол екологічного спрямування й зобов'язалася перейти в енерговиробництві на Європейські екологічні норми найближчим часом [12,13].

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Варламов Г.Б. Загальні підходи до створення методологічних основ енерго-екологічного аналізу експлуатації об'єктів ПЕК / Г.Б. Варламов, К.О. Приймак, Х. Шварцова. Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит, выпуск № 10 (116) 2013 рік, стор.2-9.
2. Капустянський А. О. Сучасні виклики паливно - енергетичного комплексу та задачі щодо їх подолання / А. О. Капустянський, Г.Б. Варламов, XVI Міжнародна науково-практична конференція аспірантів, магістрантів, студентів «Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики», КПІ ім. Ігоря Сікорського, 24.04.2018р. с.182.
3. Крыжановский Ю.В. Структура и расчет газового факела / Ю.В. Крыжановский, В.Н. Крыжановский.- К.: «Освіта України», 2012 – 96 с. Стр7-12.
4. Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям / И.Е.Идельчик .Под ред. М.О.Штейнберга. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1992.
5. Алямовский А.А. SolidWorks 2007/2008 компьютерное моделирование в инженерной практике/А.А. Алямовский . – П.: БХВ-Петербург, 2008. – 1040 с.
6. Зельдович Я.Б. Окисление азота при горении/ Я.Б. Зельдович. П.Я. Садовников, Д.А. Франк-Каменецкий - М. Изд-во Наука,1947. - 146с.
7. Иванов Ю.В. Основы расчета и проектирования газовых горелок. / Ю.В.Иванов. Гостоптехиздат. Москва – 1963./ Ю.В.Иванов.
8. Низькоемісійний газовий пальник трубчастого типу з направленим повітряним потоком. / Г.Б.Варламов, К.О.Приймак, П.О.Позняков, Н.В.Оліневич . Патент України, № 98095, 10.04.2012р.,бюл. № 7, 3 стор.
9. Низкоэмиссионная газовая горелка трубчатого типа с направленным воздушным потоком. / Г.Б. Варламов, С.Ф. Родинков, Е.А. Приймак и др.. Євразійський патент ЕАПО, № 019766, 10.04.2014г., бюл.№6 В1 30.06.2014.
10. Использование конструктивных особенностей и аэродинамических эффектов насадка Борда при создании малотоксичных топливосжигающих модулей / Г.Н. Любчик, Г.А. Микулин, Г.Б. Варламов и др.// Технологические системы.- 2002 - № 2. С. 71-78
11. Використання трубчастих модулів як елементів інтенсифікації горіння та підвищення енерго-екологічної ефективності газових пальників / Г.О. Мікулін, Г.М. Любчик, Г.Б. Варламов і ін.// Экотехнологии и ресурсосбережение. – 2003. – №4. – С.58-65.
12. Повышение экологической чистоты энергопроизводства в коммунальной энергетике / Г.Б.Варламов, К.О.Приймак, Ю.М.Камаєв и др. //X Міжнародна науково-практична конференція «Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення», вересень 2014року: Зб.наук.ст. /НДУ "УКРНДІЕП".-Х.: Райдер, 2014.-С.28-33.

---

13 Features of integrated energy assessment of the actual environmental performance of energy facilities / G.B.Varlamov, K.O.Pryimak, N. Olinevych. , M. Ocheretyanko . Electromechanical and energy saving systems, 2015. – №4/2015 (32). – pp. 75 - 81.

**РЕЖИМНА КАРТА**  
**ВОДОГРІЙНОГО КОТЛА ПТВМ-180 ст.№ 2 ТЕЦ-5 СВП "КИЇВСЬКІ ТЕЦ" ПРИ РОБОТІ НА ПРИРОДНОМУ ГАЗІ ТА НА МАЗУТІ**

	НАЙМЕНУВАННЯ ПАРАМЕТРА	ПОЗНАЧЕННЯ	РОЗМІРНІСТЬ	ТЕПЛОВЕ НАВАНТАЖЕННЯ КОТЛА (Гкал/год)					примітка
				60	80	100	120	140	
ВОДА	Витрата мережної води	Q <sub>мв</sub>	т/год	3860					±50
	Тиск мережної води перед котлом	P' <sub>мв</sub>	кгс/см <sup>2</sup>	20-25					
	Гідравлічний опір котла	ΔP <sub>мв</sub>	кгс/см <sup>2</sup>	1,1					±0,05
	Температура мережної води до котла	T` <sub>мв</sub>	°C	не нижче 70					
	Температура мережної води після котла	T`` <sub>мв</sub>	°C	86	91	96	101	106	
ПАЛИВО	Витрата газу	V <sub>г</sub>	нм <sup>3</sup> /год	7500	10000	13000	15500	18500	±1000
	Тиск газу за РК	P <sub>грк</sub>	кгс/см <sup>2</sup>	0,19-0,18	0,17	0,17-0,16	0,16	0,15	
	Кількість газових пальників в роботі	n	шт	8	10	12 - 13	15 - 16	19	±100
	Витрата мазуту	V <sub>м</sub>	кг/год	1115	1115	1115	1115	1115	
	Тиск мазуту на пальник	P <sub>м</sub>	кгс/см <sup>2</sup>	14,5	14,5	14,5	14,5	14,5	
	Кількість мазутних пальників в роботі	n <sub>м</sub>	шт	1	1	1	1	1	
ПОВІТРЯ	Тиск повітря на пальники	P <sub>п</sub>	кгс/м <sup>2</sup>	80 - 100					
	Температура повітря на пальники	T <sub>п</sub>	°C	не нижче 0					
ДИМОВІ ГАЗИ	Розрідження в топці	S <sub>т</sub>	кгс/м <sup>2</sup>	5 - 7	5 - 7	5 - 7	5 - 7	5 - 7	±3
	Температура відхідних газів	T <sub>відх</sub>	°C	91	106	120	135	150	
	Вміст O <sub>2</sub> в відхідних газах	O <sub>2</sub>	%	4,5	2,2	2,0	1,8	1,6	±0,2
	Надлишок повітря в відхідних газах	α <sub>вх</sub>		1,25	1,11	1,09	1,08	1,07	
	Масова концентрація NO <sub>x</sub> при α=1	C(α=1)NO <sub>x</sub>	мг/м <sup>3</sup>	215	230	245	250.	260	±40
	Масова концентрація CO при α=1	C(α=1)CO	мг/м <sup>3</sup>	10	10	8	6	3	
	Питомий викид NO <sub>x</sub>	vNO <sub>x</sub>	г/Г кал	225	241	257	265	279	±10
	Питомий викид CO	vCO	г/Г кал	10	10	8	6	3	
ТЕХНІКО- ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ	Втрати тепла з відхідними газами	q <sub>2</sub>	%	4,18	4,32	4,77	5,56	6,67	
	Втрати тепла з хімнедопалом	q <sub>3</sub>	%	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	
	Втрати тепла в навколишнє середовище	q <sub>5</sub>	%	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	
	ККД котла "брутто"	η <sub>ка</sub> <sup>бр</sup>	%	95,76	95,62	95,17	94,38	93,27	
	Питомі витрати умовного палива на 1Гкал	b <sub>уп</sub>	кг уп/Гкал	149,2	149,4	150,1	151,4	153,2	

**ПРИМІТКА:**

1. Режимна карта складена при спалюванні природного газу с Q<sub>р</sub>= 8225 ккал/м<sup>3</sup>, ρ=0,7486 кг/м<sup>3</sup>
2. Температура зовнішнього повітря в час випробувань 8°C. Зміна температури мережної води на вході в котел ΔT<sub>м.в.</sub>=±10°C приводить до зміни температури відхідних газів ΔT<sub>відх.</sub>=±9°C.7.При відхиленні тиску газу в магістралі (перед РК) від розрахункових в показання витрати газу вносяться поправки.
- 3.При зміні якості палива, присосів і температури холодного повітря, витрати мережної води на вході в котел, в теплотехнічні показники роботи котла вносяться поправки згідно енергетичним характеристикам.
- 4.В примітках вказані можливі границі відхилення параметрів.

## Додаток А

## ЗАТВЕРДЖУЮ

Декан теплоенергетичного  
факультету КПІ ім. Ігоря Сікорського

Евген ПИСЬМЕННИЙ  
13 березня 2020 р.

## ЗАТВЕРДЖУЮ

Головний інженер ТЕЦ-5  
СП «Київські ТЕЦ»  
КП «КИЇВТЕПЛОЕНЕРГО»

Ігор ЛАСКАВИЙ  
13 березня 2020 р.



## ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на науково-дослідну роботу

**«Підвищення енерго-екологічної ефективності котла ПТВМ-180  
за рахунок модернізації палинкової системи»**

## 1. Термін виконання роботи

Початок – 13.03. 2020 р.  
Закінчення – 10.05. 2020 р.

2. **Обґрунтування для виконання роботи:** Необхідність виконання даної роботи пов'язана з зобов'язаннями України перед Європейським Союзом щодо дотримання екологічних Європейських норм за відповідними Директивами ЄС за рахунок впровадження нових сучасних технологій енерговиробництва. Особливо це стосується необхідності підвищення екологічних показників енерговиробництва з високим рівнем енергетичної ефективності експлуатації потужних енергетичних котельних агрегатів, що використовують органічне паливо.

3. **Мета роботи:** Метою роботи є обґрунтування, розробка умов та реалізація заходів з модернізації палинкової системи котла типу ПТВМ-180 за рахунок впровадження сучасної вискоелективної мікрофакельної технології спалювання із забезпеченням високих показників енергетичної ефективності та екологічної чистоти експлуатаційних режимів роботи котла.

## 4. Зміст основних етапів виконання роботи:

- 1) Аналіз особливостей роботи палинкової системи котла із штатними газо-мазутними палинками;
- 2) Визначення аеродинамічних показників роботи штатного та мікрофакельного палиників;
- 3) Моделювання процесів роботи штатного та мікрофакельного палиників у топці котла;
- 5) Обґрунтування необхідності проведення модернізації палинкової системи котла ПТВМ-180;
- 6) Розробка конструктивних характеристик газо-мазутного мікрофакельного палиника;
- 7) Аналіз результатів натурних випробувань котла з використанням мікрофакельного палиника.

## 5. Матеріали, що подаються після закінчення роботи

- 5.1. Магістерська дисертація.
- 5.2. Довідка про впровадження результатів.

## 6. Порядок розгляду і приймання роботи

Результати роботи розглядаються на засіданні ЕК із захисту атестаційних робіт освітнього ступеня «магістр» за спеціальністю 144 «Теплоенергетика» освітньо-наукової програми «Промислова та муніципальна теплоенергетика і енергозбереження».

## Керівник роботи

Зав.каф ТПТ ТЕФ, КПІ ім. Ігоря Сікорського

Геннадій ВАРЛАМОВ  
«07» травня 2020 р.

## Виконавець

Студент гр. ТП-81мн,  
ТЕФ, КПІ ім. Ігоря Сікорського

У ЦЗУНЯНЬ  
«07» травня 2020 р.



## Додаток Б

ЗАТВЕРДЖУЮ

Головний інженер ТЕЦ-5  
СП «Київські ТЕЦ»  
КП «КИЇВТЕПЛОЕНЕРГО»  
І.В. Ласкавий



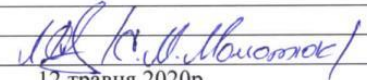
## АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ

результатів магістерської дисертації студентки другого (магістерського)  
рівня вищої освіти ТЕФ, НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського»  
У Цзунянь

Результати магістерської дисертації магістрантки НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського» У Цзунянь за темою: «Підвищення енерго-екологічної ефективності котла ПТВМ-180 за рахунок модернізації палинкової системи» впроваджено під час проведення модернізації палинкової системи котла типу ПТВМ-180 заміною штатних палиників на мікрофакельні із забезпеченням високих показників енергетичної ефективності та екологічної чистоти експлуатаційних режимів роботи котла.

Умови технічного завдання виконано у повному обсязі.

Начальник КТЦ ТЕЦ-5

  
12 травня 2020р.

## Додаток В

**СПИСОК НАУКОВИХ ПРАЦЬ \_\_\_\_\_ У ЦЗУНЯНЬ \_\_\_\_\_**  
 (прізвище, ім'я, по-батькові студента)

№ п/з	Найменування праць	Руко-писні або друковані	Назва видавництва, журналу (номер, рік) або номер авторського свідоцтва, номер диплома на винахід	Кількість друкованих аркушів або сторінок разом	Прізвища співавторів праць
1	2	3	4	5	6
1.	Моделювання аеродиманічних процесів у пальниках трубчастого типу	Друк	Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики: Матеріали XVI Міжнародної науково-практичної конференції аспірантів, магістрантів, студентів, м. Київ, 24-27 квітня 2018 р. У 2 т. – К.:КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – Т. 1. –С. 220	1 стор.	Варламов Г. Б.
2.	Особенности и недостатки штатной газо-мазутных горелок котла ПТВМ-180	Друк	VI Международная научно – практическая конференция: «Актуальные проблемы транспорта и энергетики: пути их инновационного решения» Астана, 16 марта 2018 р. /Подгот. Г.Т. Мерзадинова, Т.Б. Сулейменов, Т.Т. Султанов – Астана, 2018. –с. , С.754	4 стор.	Варламов Г. Б.
3.	Ефективна одернізація пальникової системи енергетичного котла ПТВМ-180 з використанням мікрофакельного газо-мазутного пальника	На правах руко-пису	Робота на XVIII Всеукраїнський конкурс «Молодь - енергетиці України – 2018-2019: відкритий конкурс молодих вчених та енергетиків», НТУУ КПІ імені Ігоря Сікорського	39 стор.	-

4.	Основні результати модельнізації палинкові системи котла ПТВМ-180 при застосуванні мікро-факельних палиників	Друк	Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики: Матеріали XVII Міжнародної науково-практичної конференції аспірантів, магістрантів, студентів, м. Київ, 23-26 квітня 2019 р. У 2 т. – К.:КІП ім. Ігоря Сікорського, 2019. – Т. 1. –С. 269	1 стор	Варламов Г.Б.
5.	Вдосконалення методології енерго-екологічного аналізу енергетичних об'єктів ідентифікацією їх фактичних експлуатаційних характеристик	Друк	Збірник наукових статей «Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення» - 2019. – С. 251-255	4 стор.	Варламов Г.Б. Романова К.О. Мухін М. С.
6.	Повышение качества сжигания газо-мазутного топлива в энергетических котлах за счет использования микрофакельных горелок	Друк	VII Международная научно – практическая конференция: «Актуальные проблемы транспорта и энергетики: пути их инновационного решения» Астана, 16 марта 2019 р. /Подгот. Г.Т. Мерзадинова, Т.Б. Сулейменов, Т.Т. Султанов – Астана, 2019. – С. 752	5 стор.	Варламов Г.Б.
7.	Технические решения по улучшению энерго-экологических показателей котлов с использованием микрофакельных горелок	Друк	VIII Международная научно – практическая конференция: «Актуальные проблемы транспорта и энергетики: пути их инновационного решения» Астана, 20 марта 2020 р. /Подгот. Г.Т. Мерзадинова, Т.Б. Сулейменов, Т.Т. Султанов – Астана, 2020. – С.735	5 стор.	Варламов Г.Б. Мухін М. С.

Автор

У ЦЗУНЯНЬ

(ініціали, прізвище)

## Додаток Г



Власник документу:  
Гавриш Андрій Сергійович

ID перевірки:  
1002545847

Дата перевірки:  
30.04.2020 13:07:43 EEST

Тип перевірки:  
Doc vs Internet + Library

Дата звіту:  
30.04.2020 13:12:58 EEST

ID користувача:  
77138

Назва документу: U\_Dzyu\_Nyan\_magistr

ID файлу: 1002559507 Кількість сторінок: 78 Кількість слів: 16962 Кількість символів: 115837 Розмір файлу: 15.02 MB

## 30.9% Схожість

Найбільша схожість: 26.8% з джерело бібліотеки. ID файлу: 5976129

3.47% Схожість з Інтернет джерелами

106

Page 80

29.2% Текстові збіги по Бібліотеці акаунту

46

Page 80

## 0% Цитат

Не знайдено жодних цитат

## 0% Вилучень

Вилучений текст відсутній

## Підміна символів

Заміна символів

427

Назва документу: U\_Dzyu\_Nyan\_magistr

ID файлу:  
1002559507

## Схожість

Схожість із джерелами з Інтернету

106

3	<a href="https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/24355/1/Osvpenko_magistr.pdf">https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/24355/1/Osvpenko_magistr.pdf</a>	1.69%
4	<a href="http://4ua.co.ua/physics/rb3bd69a4d43b89521216c26_0.html">http://4ua.co.ua/physics/rb3bd69a4d43b89521216c26_0.html</a>	2 Джерело 0.54%
5	<a href="https://ela.kpi.ua/handle/123456789/12503">https://ela.kpi.ua/handle/123456789/12503</a>	2 Джерело 0.44%
7	<a href="http://physikos.free.fr/file/11-4eme/4eme-chimie/4eme-chimie-chapitre%204%20Atomes%20transformation%20chimie.pdf">http://physikos.free.fr/file/11-4eme/4eme-chimie/4eme-chimie-chapitre%204%20Atomes%20transformation%20chimie.pdf</a>	79 Джерело 0.37%
11	<a href="https://www.bestreferat.ru/referat-209235.html">https://www.bestreferat.ru/referat-209235.html</a>	0.15%
13	<a href="https://www.BiblioFond.ru/view.aspx?id=658349">https://www.BiblioFond.ru/view.aspx?id=658349</a>	0.09%
15	<a href="http://cons.parus.ua/map/doc/07RISD/C4DE/Pro-zatverdzhennya-Metodiki-normuvannya-vitrat-paliva-na-virobitok-to">http://cons.parus.ua/map/doc/07RISD/C4DE/Pro-zatverdzhennya-Metodiki-normuvannya-vitrat-paliva-na-virobitok-to</a>	2 Джерело 0.05%
17	<a href="http://ahv.kpi.ua/wp-content/uploads/2017/10/Optymalne-keruvannya-systemamy.pdf">http://ahv.kpi.ua/wp-content/uploads/2017/10/Optymalne-keruvannya-systemamy.pdf</a>	11 Джерело 0.05%
18	<a href="https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/17860/1/Siriy_diss.pdf">https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/17860/1/Siriy_diss.pdf</a>	0.05%
19	<a href="https://forum.fok.nl/topic/1314581/1/999">https://forum.fok.nl/topic/1314581/1/999</a>	2 Джерело 0.05%
20	<a href="http://search.ligazakon.ua/l_doc2.nsf/link1/REG5879.html">http://search.ligazakon.ua/l_doc2.nsf/link1/REG5879.html</a>	2 Джерело 0.05%
21	<a href="https://ua-referat.com/%D0%A0%D0%BE%D0%B7%D1%80%D0%BE%D0%B1%D0%BA%D0%B0_%D0%B0%D0%B2%D1%82%D...">https://ua-referat.com/%D0%A0%D0%BE%D0%B7%D1%80%D0%BE%D0%B1%D0%BA%D0%B0_%D0%B0%D0%B2%D1%82%D...</a>	0.05%
22	<a href="https://studfile.net/preview/3756318/page:3">https://studfile.net/preview/3756318/page:3</a>	0.05%

Схожість по Бібліотеці акаунту

46

1	У Цзунянь	ID файлу: 5976129	Institution: National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute"	33 Джерело 26.8%
2	ТП 71 мп Міук Є.М.	ID файлу: 8178958	Institution: National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute"	3 Джерело 2.96%
6	Mukhin_magistr	ID файлу: 1002248807	Institution: National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute"	0.44%
8	ПЗ 11.05.18 Mukhin MS TP41	ID файлу: 5767357	Institution: National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute"	0.36%
9	ТВАК(ВОВЧЕНКО)25.05.2018	ID файлу: 5766449	Institution: National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute"	0.24%
10	МД Місюра В	ID файлу: 8239527	Institution: National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute"	2 Джерело 0.16%

Назва документу: U\_Dzyu\_Nyan\_magistr

ID файлу:  
1002559507

12	Студентська робота	ID файлу: 992304	Institution: National University of Life and Environmental Sciences of Ukr...	0.09%
14	Студентська робота	ID файлу: 5659025	Institution: Lviv Polytechnic National University	2 Джерело 0.05%
16	Marushkevich	ID файлу: 5984106	Institution: National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Ins	2 Джерело 0.05%